

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Zeichnungsverhalten bei flächenbildenden Okklusions-
markierungsmitteln bei Variation des Druckes und der
Oberflächenmorphologie**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Helmut Hartmann
aus Zweibrücken

Mainz, 1987





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554422_0027

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**Zeichungsverhalten bei flächenbildenden Okklusions-
markierungsmitteln bei Variation des Druckes und der
Oberflächenmorphologie**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Helmut Hartmann
aus Zweibrücken

Mainz, 1987

Dekan: Professor Dr. M. Thelen
1. Gutachter: Professor Dr. K. Fuhr
2. Gutachter: Professor Dr. U. Stüttgen

Tag der Promotion: 16. Dez. 1987

Meinem Vater und meiner Mutter gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1.	PROBLEMSTELLUNG.....	1
2.	EINTEILUNG DER MATERIALIEN ZUR MARKIERUNG OKKLUSALER KONTAKTE UND INTERFERENZEN NACH IHRER ART UND DICKE.....	4
2.1	Einteilung der flächenbildenden Okklusions- markierungsmitteln nach ihrem Trägermaterial.....	4
2.1.1.	Folien.....	4
2.1.2.	Papiere.....	5
2.1.3.	Seiden.....	6
2.2	Einteilung der flächenbildenden Okklusions- markierungsmitteln nach ihrer Dicke.....	6
2.2.1.	Folien.....	7
2.2.2.	Papiere.....	12
2.2.3.	Seiden.....	14
3.	DARSTELLUNG DES UNTERSCHIEDLICHEN ZEICHNUNGS- VERHALTENS AUF PLANER OBERFLÄCHE BEI KONSTANTEM DRUCK.....	15
3.1	Versuchsanordnung.....	15
3.2	Darstellung der Ergebnisse.....	16
4.	MECHANISMUS DER FARBABGABE.....	21
4.1.	Versuchsanordnung.....	21

4.1.1.	Impulsbelastung.....	22
4.1.2.	Impulsfreie Belastung.....	22
4.2.	Darstellung der Ergebnisse.....	25
4.2.1.	Impulsbelastung.....	25
4.2.2.	Impulsfreie Belastung.....	30
5.	ZEICHNUNGSGENAUIGKEIT.....	36
5.1.	Methodik.....	36
5.2.	Darstellung der Ergebnisse.....	37
5.3.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	56
6.	ZEICHNUNGSVERHALTEN AUF ZAHNOBERFLÄCHEN.....	57
6.1.	Versuchsanordnung.....	57
6.2.	Darstellung der Ergebnisse.....	58
6.2.1.	Folien.....	64
6.2.2.	Papiere.....	66
6.2.3.	Seiden.....	69
6.3.	Ergebnisinterpretation.....	72
6.4.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	74
7.	ZEICHNUNGSVERHALTEN BEI REDUZIERTEM DRUCK.....	76
7.1.	Versuchsanordnung.....	76



7.2.	Darstellung der Ergebnisse.....	81
7.3.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	82
8.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	87
8.1.	Ergebnisse.....	87
8.2.	Kritik an den gewählten Versuchsanordnungen.....	91
9.	ZUSAMMENFASSUNG.....	93
10.	LITERATURVERZEICHNIS.....	95
11.	LEBENS LAUF.....	99

1. PROBLEMSTELLUNG

Auffällig ist, daß Studien, die sich mit dem Vergleich von Okklusionsmarkierungsmitteln beschäftigen, vergleichsweise selten sind im Vergleich zu Untersuchungen, die sich der Okklusionsmarkierungsmittel bedienen.

Hier an erster Stelle zu erwähnen ist die Einschleiftherapie. Korrekt einschleifen kann man jedoch nur nach Markierung der echten Okklusions- und Artikulationspunkte, welches wiederum nur möglich ist bei Verwendung eines optimalen Markierungsmaterials.

Halperin et al. (8) und Millstein (19) untersuchten Okklusionsmarkierungsmaterialien im Vergleich, wobei Millstein feststellt, daß er in 10 Jahren Veröffentlichungen zum Thema Okklusion nur eine fand, die sich mit Okklusallindikatoren beschäftigt. Er bedauert die Diskrepanz zwischen Bedeutung des Themas und Zahl der entsprechenden Literaturstellen.

Dagegen finden sich in der Literatur immer wieder Meinungen und Alternativverfahren zur Okklusionsprüfung:

Yurkstas und Manly (28) nahmen Wachsregistrare, die sie im Durchlicht analysierten (im Jahre 1948). Ingle (12) gibt an, daß Markierungen mit feuchtem Blaustift genauer sind als Artikulationspapier (1957). Troest (26) bevorzugt Lacke (1964). Hupfaut (11) stellt fest, daß Artikulationspapier bei steilhöckrigen Zähnen zu falschen Markierungen führt (1967). Chaikin (2) bevorzugt ein Graphit-Mineralöl-Gemisch (1976), Komari (15) vertraut Wachsregistraren (1978), Szentpetery (25) findet Folien den Papieren und Seiden überlegen (1981).

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchung von flächenbildenden Okklusionsmarkierungsmitteln, also Folien, Papiere und Seiden. Sprays, flüssige Farben sowie eine Folie mit UV-empfindlicher Farbe wurden nicht berücksichtigt. Die Auswahl der untersuchten Materialien erfolgte willkürlich, wobei davon ausgegangen werden kann, daß die zumindest in West-Deutschland gebräuchlichsten Produkte unter den 14 getesteten zu finden sind.

Nicht untersucht wurden neuere druckabhängig zeichnende Folien, bei denen Beugungsmuster analysiert (1), (3), (5) oder Farbverteilungen computerunterstützt ausgewertet werden (4), (6), (13), (14), (21), (22) und somit eines hohen instrumentellen Aufwandes bedürfen.

Daneben gibt es weitere Ansätze einer quantitativen Okklusionsanalyse, wie hologramminterferometrische Untersuchungen (24), die sich jedoch auf Modellanalysen beschränken sowie eine Arbeit von Millstein (20), der eine interokklusale Silikonabformung durchleuchtet und anschließend computerunterstützt analysiert.

Abschließend sei ein exotisch anmutendes Verfahren der instrumentellen Okklusionsanalyse erwähnt, die Phonognathographie (27).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß konventionelle, gebräuchliche Materialien untersucht wurden, die nicht an einen hohen instrumentellen Aufwand gebunden sind. Die 14 ausgewählten Produkte wurden untersucht nach ihrem Zeichnungsverhalten bei Variation des Druckes und der Oberflächenmorphologie. Die Arbeit soll die Forderungen, die an ein ideales flächenbildendes Okklusionsmarkierungsmaterial zu stellen sind, erarbeiten, z. B. welchen Einfluß die Dicke des Materials, die Art des Farbträgers sowie die Farbe selbst auf die dargestellten Kontaktflächen hat.

Bei den Versuchen handelt es sich ausschließlich um Simulationsversuche einer klinischen Situation bei Idealbedingungen. Dabei wurde der wichtige Einfluß der Feuchtigkeit, insbesondere des Speichels, nicht berücksichtigt.

Dieser Aspekt sowie die Untersuchung der Zeichnungsgenauigkeit auf verschiedenen Materialien können in einer parallel entstandenen Arbeit von D. Leicher (17) nachgelesen werden.

2. EINTEILUNG DER MATERIALIEN ZUR MARKIERUNG OKKLUSALER KONTAKTE UND INTERFERENZEN NACH IHRER ART UND DICKE

2.1. Einteilung der flächenbildenden Okklusionsmarkierungsmitteln nach ihrem Trägermaterial

Es können unterschieden werden:

1. Folien
2. Papiere
3. Seiden

2.1.1. Folien

Tab. 1: Übersicht über die getesteten Folien

Her- steller	Bezeichnung	angege- gebene Dicke in μm	gemes- sene Dicke in μm	Stan- dard abwei- chung in %	Ident. 1) Nr.
Bausch	Artifol BK 70/71/72	8	20,6	2,5	03
Bausch	Artifol metallic BK 19	17	16,2	2,6	05
Hanel	GHM Okklusions- prüffolie	12	19,3	4,2	13
Hanel	GHM Okklusions- prüffolie DS	8 - 8	17,9	4,9	16

1)

Im Text werden die untersuchten Materialien meist unter ihrer Identifikationsnummer genannt. Zur Vereinfachung für den Leser befindet sich im Anschluß an Seite 99 ein Faltblatt zur Ausweisung der einzelnen Materialien.

2.1.2. Papiere

Tab. 2: Übersicht über die getesteten Papiere

Hersteller	Bezeichnung	angegebene Dicke in μm	gemessene Dicke in μm	Standard abweichung in %	Ident. Nr.
Bausch	Artikulations- papier BK 01/ 02/05	200	183	5,3	02
Bausch	Artikulating Paper BK 09/10	40	39	5,4	04
Hanel	Okklusions- papier super- fein	40	36	7,3	14
P. D.	Artikulating Paper	-	36,5	3	34
Swedent	Double Check Artikulating Paper	-	81,7	5,7	62
Scania	Reprint Artikulating Paper	-	79,4	3,3	82

2.1.3. Seiden

Tab. 3: Übersicht über die getesteten Seiden

Her- steller	Bezeichnung	angege- gebene Dicke in μm	gemes- sene Dicke in μm	Stan- dard abweichung in %	Ident. Nr.
Hanel	GHM Artikulationsseide Typ Butterfly	80	64,5	5,7	11
ECR	Dental Tape Silk	-	72,3	5,8	51
Candulor	Artikulationsband	-	112,6	3,6	71
Darex	Dental Tape Green Silk	-	69	3,4	91

2.2. Einteilung der flächenbildenden Okklusionsmarkierungsmitteln nach ihrer Dicke

Wie aus den Tabellen der letzten Seiten hervorgeht, reicht die Dicke der untersuchten Materialien von 16,2 μm bis 183 μm . Die Werte sind Mittelwerte aus 10 Messungen und wurden aus der Arbeit von D. Leicher (17) übernommen. Die prozentuale Standardabweichung ist angegeben. Die Identifikationsnummer dient der internen Kennzeichnung.

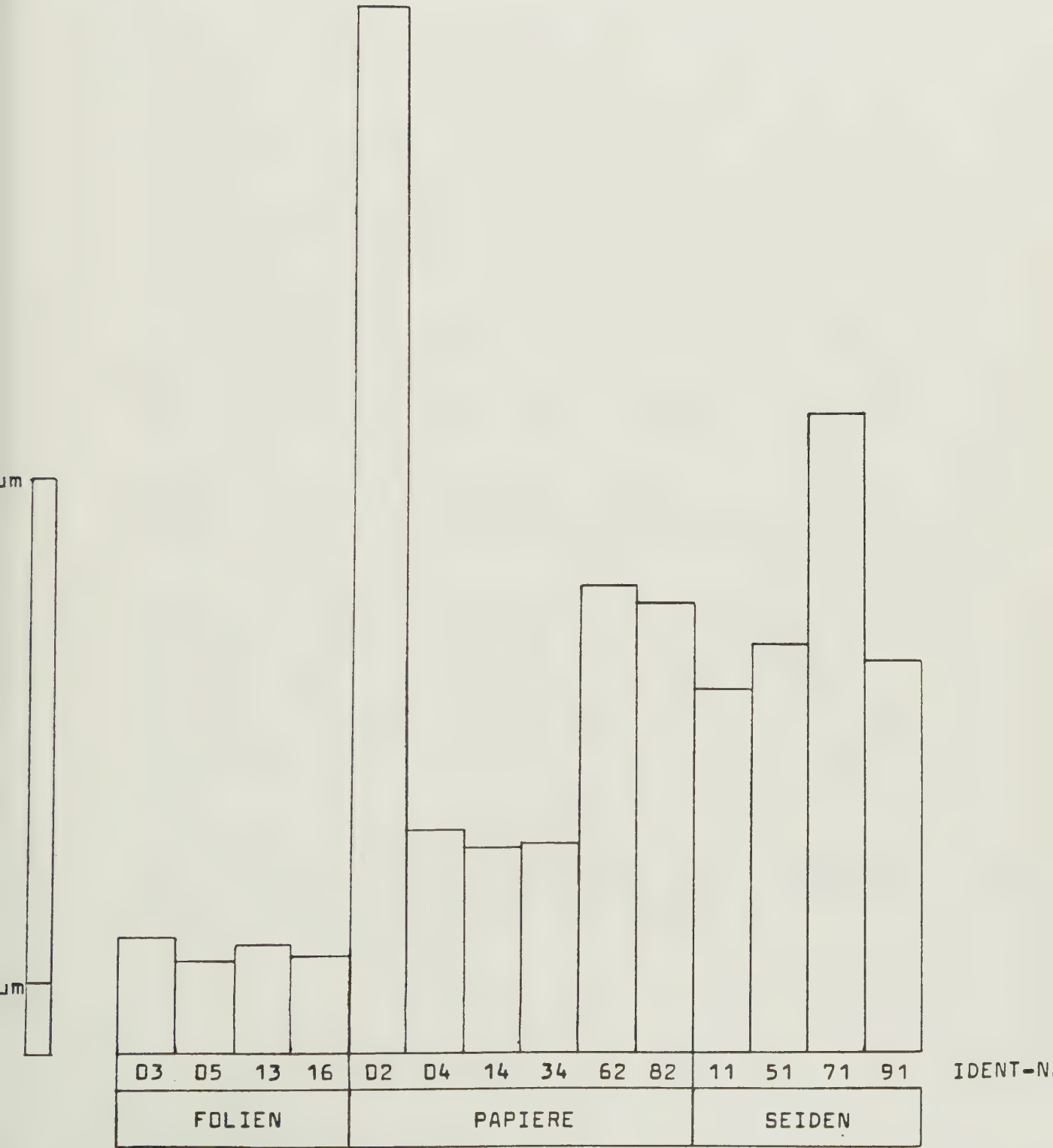
Über die praktische Bedeutung der Dicke der entsprechenden Folien, Papieren und Seiden gibt das Kapitel "Zeichnungsverhalten auf Zahnoberflächen" Aufschluß. An dieser Stelle sei nur folgendes vorweggenommen:

Die unterste Grenze des interokklusalen Tastvermögens, d. h. die minimale Dickenreception, liegt nach Halperin et al. (8) zwischen 12,5 μm und 100 μm (nach einer entsprechenden Literaturstudie). Daher sind diese beiden Werte in der Abb. 1 angegeben. Die Forderung, daß die Markierungsmaterialien in ihrer Dicke unter diesem Grenzwert (bzw. der angegebenen Bandbreite) liegen sollten, um Irritationen der Mandibel bei der Führung in die Okklusion zu vermeiden, erfüllt keines der Materialien deutlich. Am ehesten kommen die Folien dieser Forderung nach.

2.2.1. Folien

Ihre Dicke liegt zwischen 16 μm und 20 μm . Dabei ist interessant festzustellen, daß die Herstellerangabe der Foliendicke doch mitunter beträchtlich von der wahren Dicke abweicht. Hier fallen besonders unangenehm auf sowohl die Bausch Artifol BK 70/71/72 mit angegebenen 8 μm und einer gemessenen Dicke von 20,6 μm , als auch die Hanel GHM Okklusionsprüffolie, laut Hersteller 12 μm , in Wahrheit aber 19,3 μm dick.

Abb. 1: Darstellung der Dicke der getesteten Materialien im Vergleich



Interessant ist ferner, daß die Bausch Artifol BK 70/71/72 offensichtlich in verschiedenen Qualitätsstufen im Handel ist. Im Verlauf der Versuche fand sich ein im Vergleich zu O3 farbstärkeres Material, entsprechend als O3' bezeichnet und in einigen Versuchen berücksichtigt.

Verwirrend ist auch die Angabe '8 - 8 μm ' der Hanel GHM Okklusionsprüffolie DS. Hierbei handelt es sich im Gegensatz zu den anderen Folien, die nur einseitig zeichnen, um eine doppelseitig (DS) zeichnende Folie. Sie überrascht mit einer gemessenen Dicke von 17,9 μm und ist damit nach der Bausch Artifol metallic BK 19 die dünnste getestete Folie überhaupt. Bei einseitigem Farbauftrag ergäbe sich also ein Vorteil für dieses Produkt.

In der Literatur findet sich eine vergleichende Dickenanalyse von Okklusionsmarkierungsmitteln nur bei Halperin et al (8), der US-amerikanische Produkte untersucht hat. Dabei waren die 'Artus occlusal registration strips' mit 13 μm sozusagen Testsieger.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Folien durch ihre geringe Dicke im Vergleich zu Papieren und Seiden imponieren.

Da bei den Folien die Farbe aufgewalzt ist, kann man weiter differenzieren zwischen der Dicke des Folienträgers und der Dicke des Farbauftrages. Dabei wurde auf die Farbseite der Folie ein Testfilmstreifen aufgebracht. Nach Abzug dieses Streifens haben wir den von der Farbe isolierten Farbträger. Bei 10 Messungen ergaben sich die in der Tab. 4 aufgeführten Durchschnittswerte.

Die Abb. 2 zeigt die Dicke der untersuchten Folien, aufgeschlüsselt nach der Dicke des Farbträgers (der eigentlichen Folie) und der Dicke der Farbschicht.

Tab. 4: Darstellung der Dicke der Folien, differenziert nach Farbträger und Farbschicht

Ident. Nr.	Gesamtdicke (μm)	Trägerdicke (μm)/ Stand. Dev. %	Dicke der Farbschicht (μm)
03	20,6	16/0 %	4,6
05	16,2	20/0 %	4,2
13	19,3	16/0 %	3,3
16	17,9	8/0 %	2 x 4,95

Den dicksten Farbauftrag mit je 4,95 μm zeigt die doppelseitige Hanelfolie. Die einseitig beschichtete Hanelfolie dagegen kommt mit 3,3 μm Farbe aus. Dazwischen liegen die beiden Produkte von der Firma Bausch.

Den dünnsten Farbträger dagegen hat die doppelseitige Hanelfolie mit 8 μm . Genau doppelt so dick sind die einseitig beschichtete Hanelfolie und die Bausch Artifol BK 70/71/72. Dazwischen liegt die Bausch Artifol metallic mit einer Trägerdicke von 12 μm .

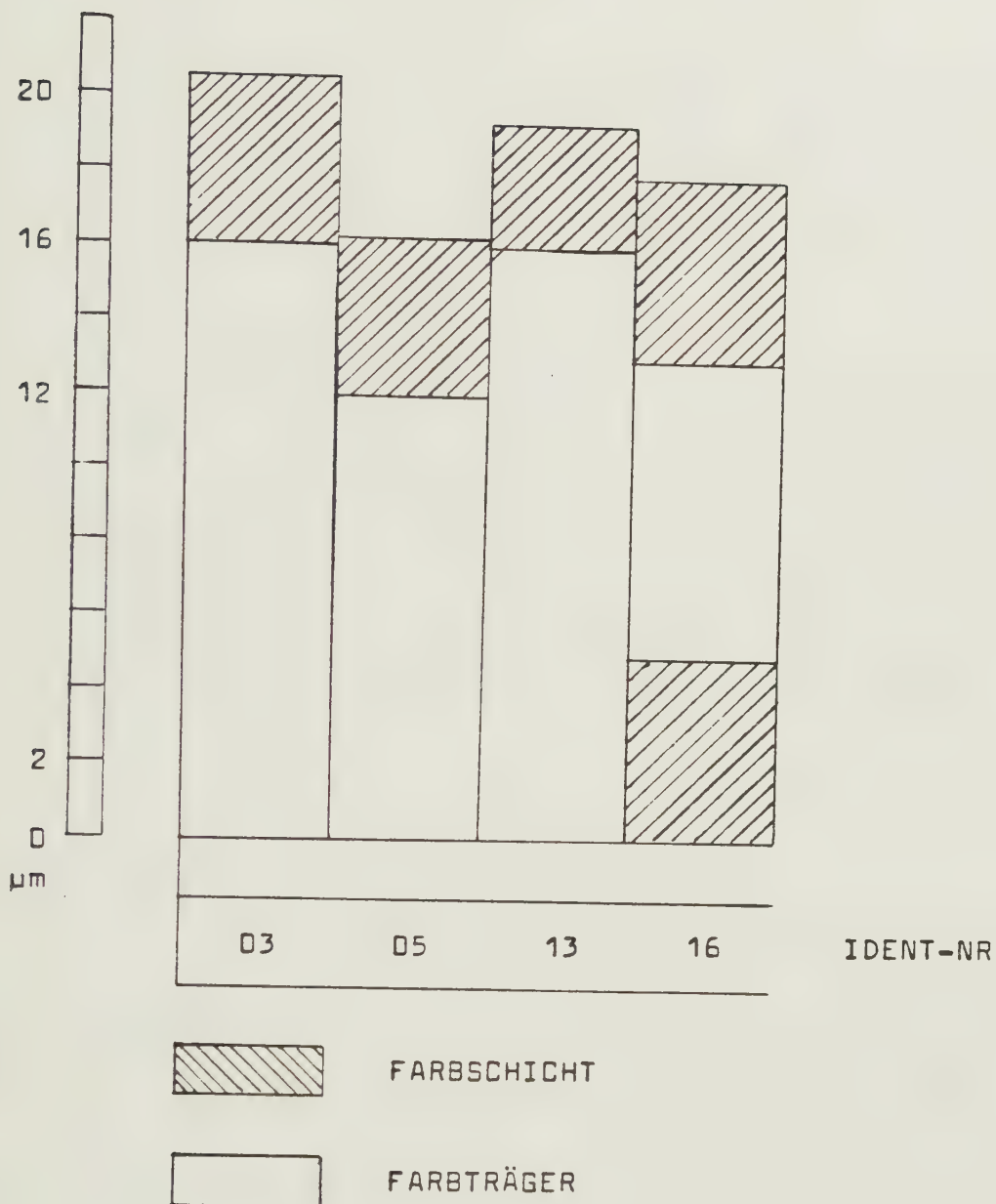


Abb. 2: Darstellung der Dicke der Folien, differenziert nach Farbträger und Farbschicht

2.2.2. Papiere

Die Dicke der dünnsten Papiere liegt mit etwa 40 μm doppelt so hoch wie die der Folien. Die Produkte von Swedent und Scania liegen um 80 μm . Gänzlich aus dem Rahmen fällt das Bausch Artikulationspapier BK 01/02/05 mit einer gemessenen Dicke von 183 μm , d. h. es ist etwa 9 - 10 mal so dick wie die Folien.

Auch bei den Papieren kann unterschieden werden zwischen der Dicke des Papiers und der Dicke des Farbauftrags. Hiervon ausgenommen ist das Bausch Artikulationspapier BK 01/02/05, da hier die Farbe nicht aufgewalzt ist, sondern das grobfaserige Papier die Farbe wie ein Schwamm enthält. Die Produkte 04 und 14 wurden vermessen, nachdem die Farbe mit einem Skalpell abgekratzt worden war. 34, 62 und 82 konnten direkt an Stellen fehlenden Farbauftrages (Haftungsstelle) vermessen werden. Gemessen wurde je 10 mal.

Tab. 5: Differenzierte Darstellung der Dicke der Papiere

Ident. Nr.	Gesamtdicke (μm)	Trägerdicke (μm)/ Stand. Dev. %	Dicke der Farbschicht (μm)
04	39	19/7,6 %	2 x 10
14	36	24/8,1 %	2 x 6
34	36,5	21/8,5 %	2 x 7,75
62	81,7	65/9 %	2 x 8,35
82	79,4	71/4,4 %	2 x 4,2

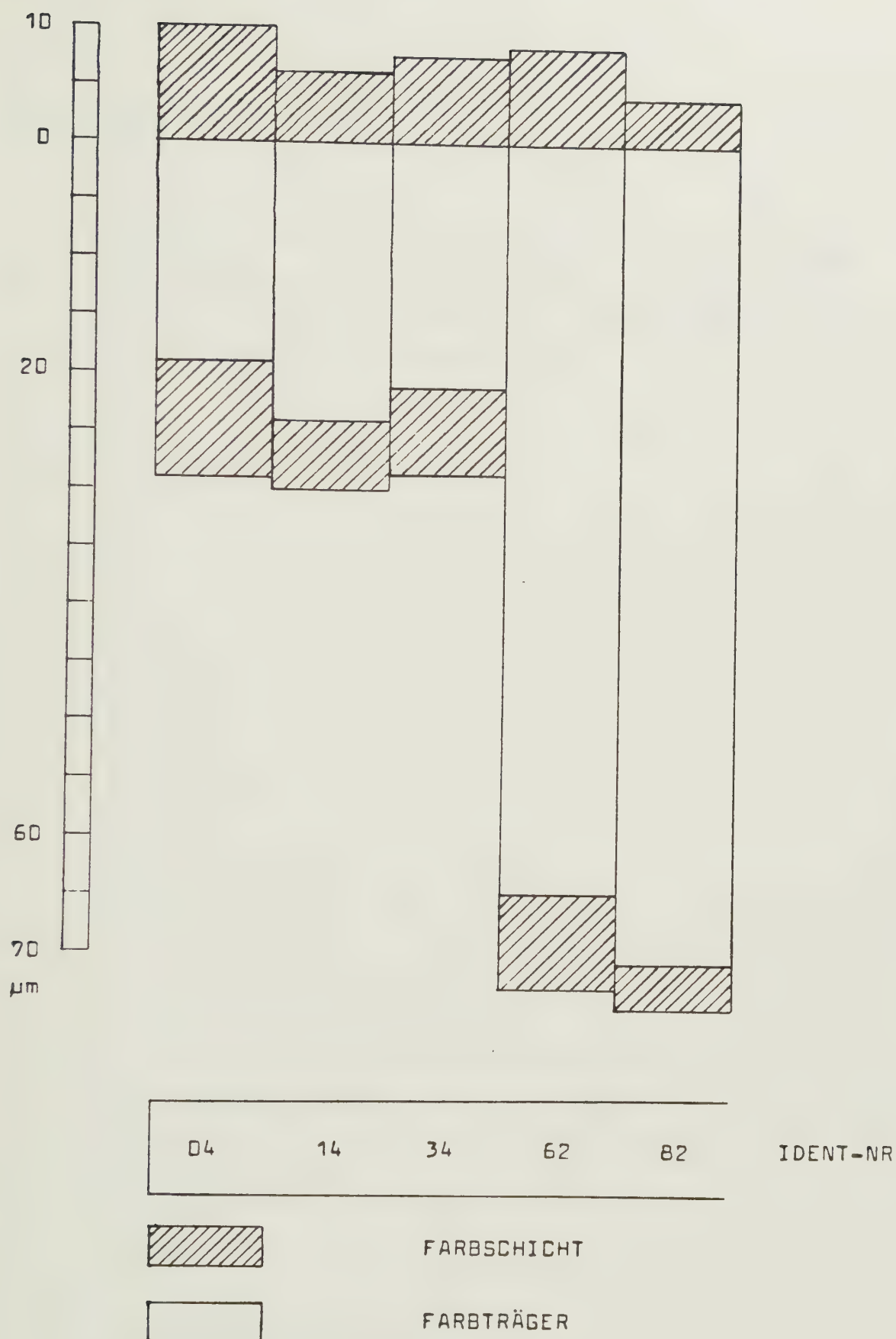


Abb. 3: Darstellung der Dicke der Papiere (ausgenommen 02), differenziert nach Farbträger und Farbschicht

2.2.3. Seiden

Die Dicke der Seiden liegt bei ca. 70 μm , ausgenommen das Candulor Artikulationsband, das 112,6 μm dick ist. Interessant ist, daß es sich bei der "ECR Dental Tape Silk" um dentalgerecht verpacktes Schreibmaschinenfarbband handelt.

3. DARSTELLUNG DES UNTERSCHIEDLICHEN ZEICHNUNGSVERHALTENS AUF PLANER OBERFLÄCHE BEI KONSTANTEM DRUCK

3.1. Versuchsanordnung

Diese einleitende Versuchsreihe soll einen ersten Überblick über das Zeichnungsverhalten der verschiedenen Okklusionsmarkierungsmaterialien geben. Dabei geht es lediglich darum, einen ersten optischen Eindruck der materialspezifischen Zeichnungseigenarten zu bekommen. Zudem wurde versucht, einen möglichst einfachen Versuchsaufbau zu einem Schnelltest der Materialien zu erhalten.

Die Tatsache, daß es sich bei der ECR Dental Tape Silk um Schreibmaschinenfarbband handelt, führte zu der Idee, eine Schreibmaschine zum Test der Materialien zu verwenden. Dabei wurde auf eine elektrische Schreibmaschine¹⁾ zurückgegriffen, um einen konstanten Anschlagdruck zu garantieren.

Zum Versuch ausgewählt wurde das Kommazeichen, da hier sowohl eine linienförmige, als auch eine flächenhafte Oberfläche zur Darstellung gelangen. Alternativen wären z. B. Ausrufezeichen, Semikolon oder Fragezeichen gewesen.

Die ersten Versuche wurden auf Schreibmaschinenpapier gemacht. Es konnten zwar Unterschiede des Zeichnungsverhaltens erkannt werden, die Ergebnisse wurden jedoch vom Saugverhalten des Papiers, im übrigen einer sehr praxisfremden Oberfläche, stark verfälscht.

¹⁾ Olympia Report de Luxe, Anschlagskraftstellung

Eine Verbesserung brachte die Verwendung einer Folie für Overhead-Projektoren¹⁾, deren Oberfläche nichtsaugend und quasi hochglanzpoliert ist.

Die Folie wurde analog eines normalen Papiers in die Schreibmaschine eingespannt. Anstelle des entfernten Farbbandes wurde das Okklusionsmarkierungsmaterial verwendet. Dieses wurde nicht wie das Farbband in die dafür vorgesehenen Führungen geklemmt, sondern direkt auf die Folie gehalten, da andernfalls das Material beim Auftreffen der Type einer Spannung ausgesetzt ist.

Für jedes geprüfte Produkt wurden 10 Versuche gemacht. Nach jedem Anschlag der Type wurde diese mit handelsüblichem Reinigungsbenzin gesäubert und anschließend getrocknet.

3.2. Darstellung der Ergebnisse

Folien: - problematische Farbhaftung mit stellenweise ganz
fehlendem Farbauftrag
- umrißgenaues Zeichnen

Papiere:	04:	homogene, ganzflächenhafte, umrißgenaue Darstellung
	14:	inhomogene, ganzflächenhafte, umrißgenaue Darstellung
	34:	inhomogene, ganzflächenhafte, im Vergleich zu 04 und 14 umrißgenauere aber farbintensivere Darstellung
	02, 62, 82:	unscharfes, inhomogenes Farbverhalten

¹⁾ Vangophan Folie für Overhead-Projektoren Nr. 17019 0,1 mm

- Seiden:
- sehr inhomogene aber farbintensive, ganzflächenhafte Darstellung mit Umrißungenauigkeiten
 - am farbstärksten ist das Produkt 91

Die Ergebnisse wurden photographiert mit einem Leitz Orthoplan. Dabei war die Vergrößerung 8 : 1 (Objektiv 2,5 x). Es wurde ein Blau- und ein Graufilter benutzt.

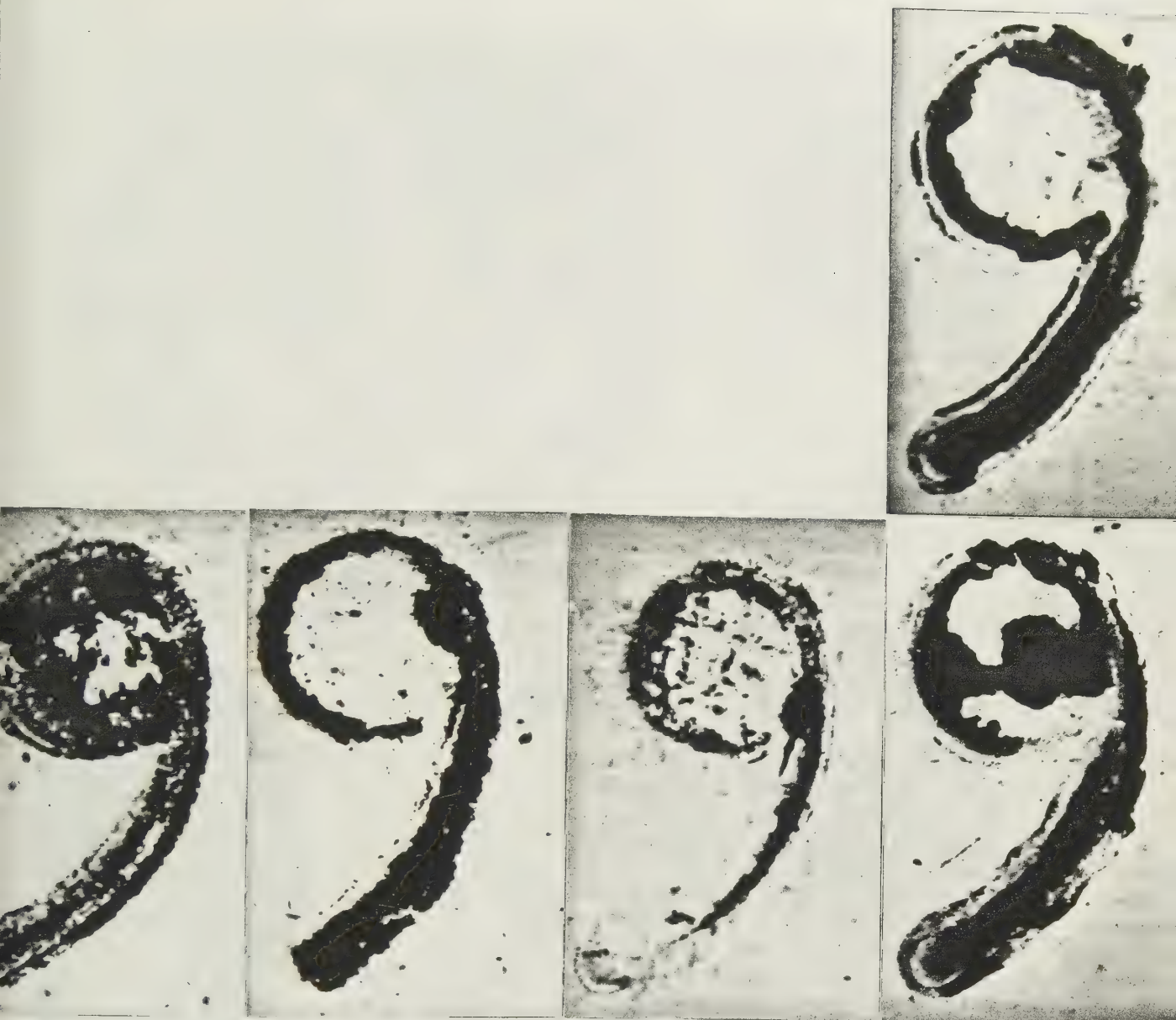


Abb. 4:

			16
03	05	13	16

Darstellung der Ergebnisse der Folien. Bei 16 kamen zwei Varianten immer wieder vor und werden deshalb beide gezeigt.

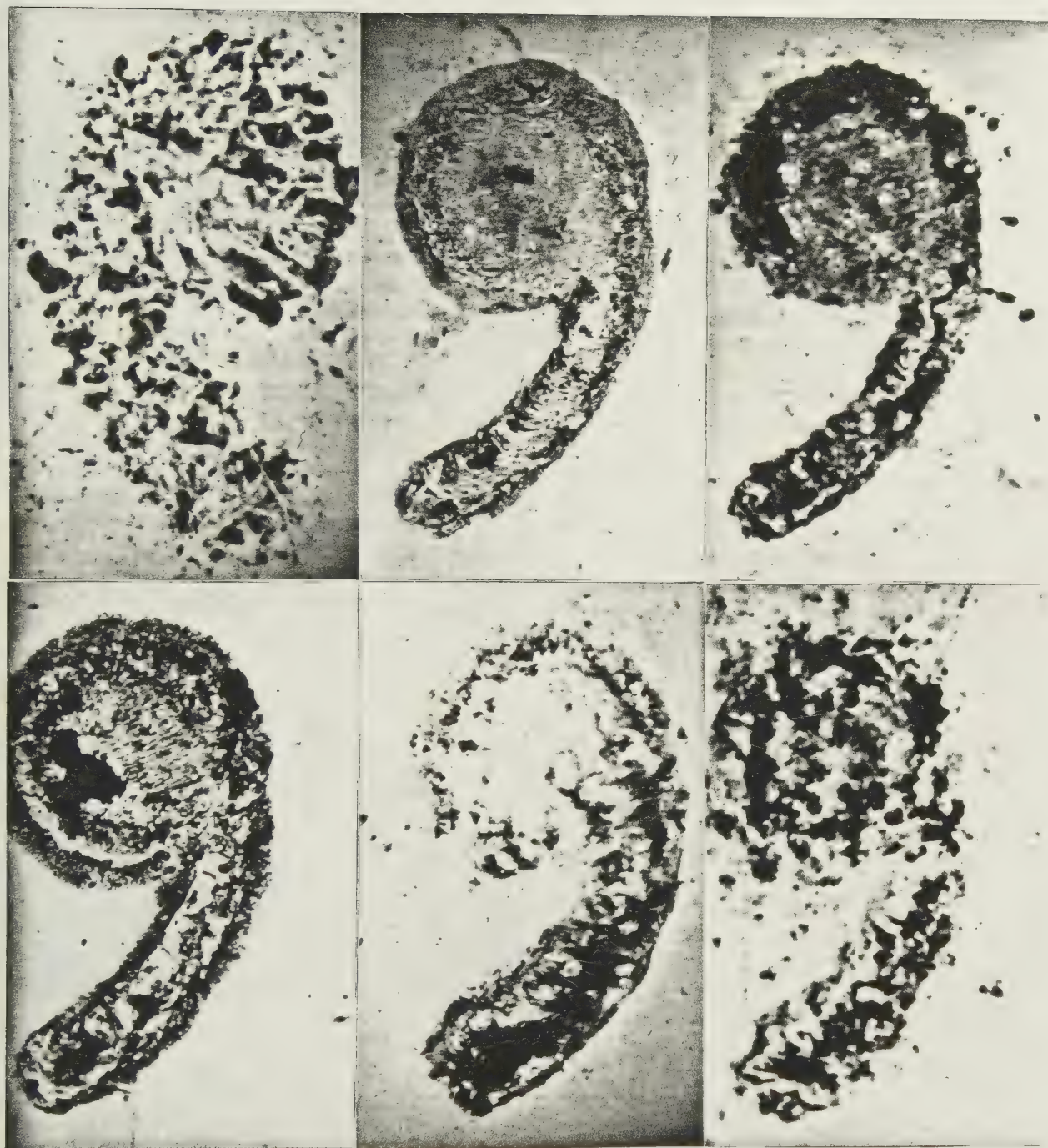


Abb. 5:

02	04	14
34	62	82

Darstellung der Ergebnisse der Papiere

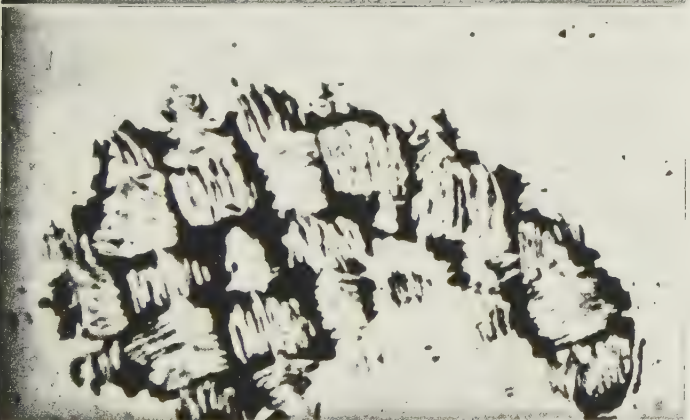
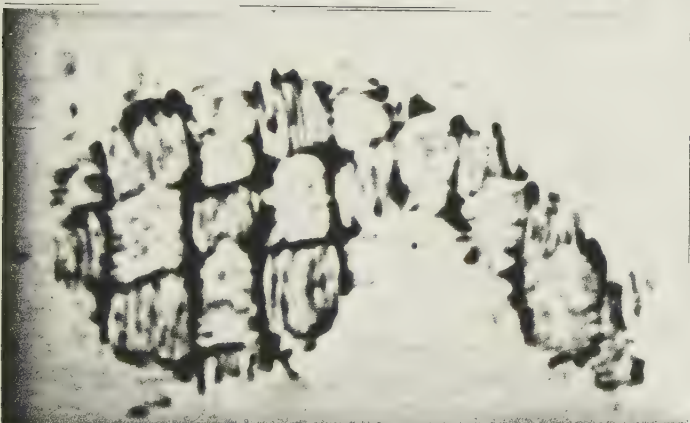
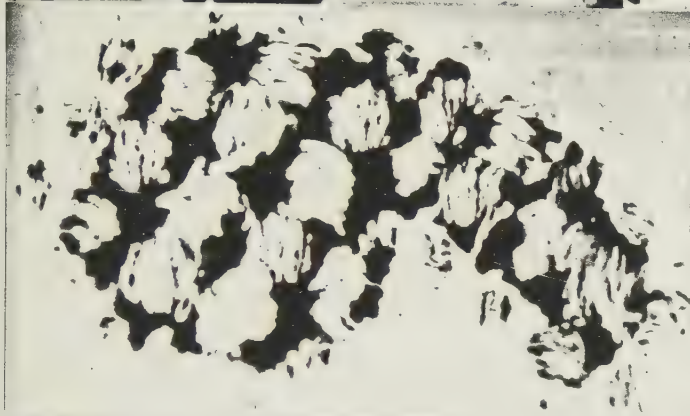
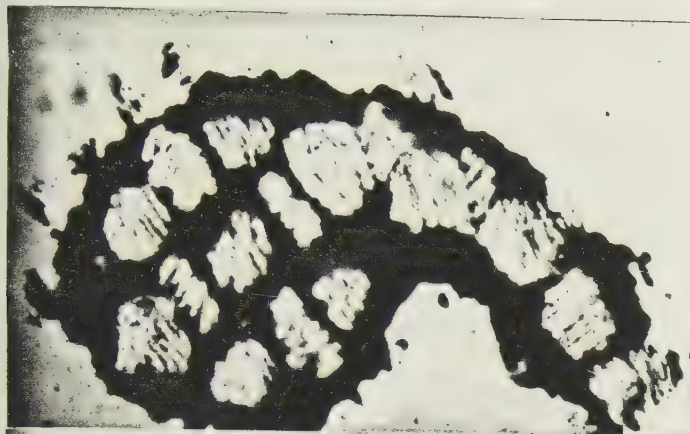


Abb. 6:

91
71
51
11

Darstellung der Ergebnisse
der Seiden

4. MECHANISMUS DER FARBABGABE

4.1. Versuchsanordnung

Bevor wir das Zeichnungsverhalten unter verschiedenen Bedingungen genauer untersuchen, ist es wichtig, den Mechanismus der Farbabgabe genauer zu untersuchen. Dabei haben wir uns mit zwei grundlegenden Fragen zu beschäftigen:

- Impulsbelastung:

Wie verhält sich ein Okklusionsmarkierungsmaterial, wenn es durch einen Impuls zur Farbabgabe gebracht wird? - Klinisch tritt dies beim Hacken auf.

- Impulsfreie Belastung:

Wie verhält sich ein Okklusionsmarkierungsmaterial im impulsfreien Versuch; d. h. gibt es allein durch Belastung mit einem Gewicht (also bei Fehlen der Geschwindigkeitskomponente) Farbe ab? - Klinisch tritt diese Belastungsart beim Pressen auf.

Beide Varianten der Belastung treten klinisch auf, wobei auch beim Hacken nahezu impulsfreie Belastungen auftreten können, wenn z. B. der Hauptimpuls durch Frühkontakte abgefangen wird. Dabei werden die Zähne mit Frühkontakt intrudiert. Die nun sekundär in Okklusion tretenden Zähne sind dann einem gedämpften Impuls ausgesetzt, der im Extremfall frei von der Geschwindigkeitskomponente sein kann.

4.1.1. Impulsbelastung

Bei diesen Versuchen soll das Markierungsmaterial dem Impuls einer Kugel ausgesetzt werden. Die Kugel bietet den Vorteil, die Farbabgabe entlang ihrer gekrümmten Oberfläche, d. h. bei Variation der Eindringtiefe in das Testmaterial, und damit auch indirekt in Abhängigkeit des Druckes studieren zu können.

Zur Realisierung dieser Idee wurde ein Balance-Artikulator verwendet, in dessen Oberteil ein Plexiglasträger eingegipst war. Auf den Plexiglasträger war eine Stahlkugel von 4,75 mm Durchmesser in eine entsprechende Versenkbohrung von ca. 1 mm Tiefe geklebt. Das Unterteil des Artikulators trug einen Plexiglasblock mit herausnehmbarer, fixierbarer Plexiglasscheibe, auf die die Kugel auftraf.

Die Kondylen des Artikulators waren fixiert, so daß nur Rotationsbewegungen möglich waren. Das Artikulatoroberteil wurde aus konstanter Höhe (Öffnungswinkel 5°) auf das fixierte Unterteil fallengelassen. Dazwischen befand sich das zu testende Material. Das Gewicht des bewegten Oberteils betrug 493 g.

4.1.2. Impulsfreie Belastung

Für die Versuche mit impulsfreier Belastung wurde ein Konsistometer der Fa. Haake (Abb. 7) zweckentfremdet verwendet.

Das zu untersuchende Material wurde dabei 10 Sekunden dem Gewicht G über einen Stempel ausgesetzt. Als Stempel wurden verwendet:

- Eine Kugel mit 16 mm Durchmesser. Diese wurde mit Sekundenkleber am Stempelhalter fixiert.
- Ein Zylinder mit zur Unterlage planer Oberfläche und einem Durchmesser von 1 mm.

Dabei erwies sich die abgedrehte Oberfläche als nicht plan genug. Deshalb wurde diese nachbehandelt mit 1200er Schleifpapier, das zusammen mit etwas Wasser auf die rauhe Seite einer Glasplatte (wie sie zum Zementanspateln verwendet wird) aufgebracht wurde. Die Glasplatte wurde nun einige Minuten auf der planen Unterlage bewegt. Dabei drückte das Gewicht der Stempelführung auf die Glasplatte.

Das Testmaterial wurde sechs verschiedenen Belastungen ausgesetzt: 180 g (= Eigengewicht der Stempelführung + Stempel), 1 kg, 2 kg, 4 kg, 8 kg, 16 kg.

Die Markierungen sollten auf eine plane, hochglänzende Oberfläche gemacht werden. Da Plexiglas leicht verkratzt und Kratzer im Haftungsgrenzbereich der Farbe Retention bieten, wurde hier ausgewichen auf Glasobjektträger, wie sie für histologische Zwecke verwendet werden.

Um eine impulsfreie Belastung zu garantieren, muß das Gewicht bzw. hier der Hebelarm, sehr langsam abgesenkt werden. Hier wäre eine Hydraulik zwar ideal gewesen, aber nach einiger Übung ersetzte das eigene Handgelenk diese.

Die recht lange Belastungsdauer von 10 Sekunden wurde gewählt, um entstehende Zeitfehler möglichst gering zu halten. Gemessen wurde nur die Zeit der vollen Belastung, d. h. die Phase des langsamen Absenkens des Hebelarmes wurde nicht berücksichtigt.

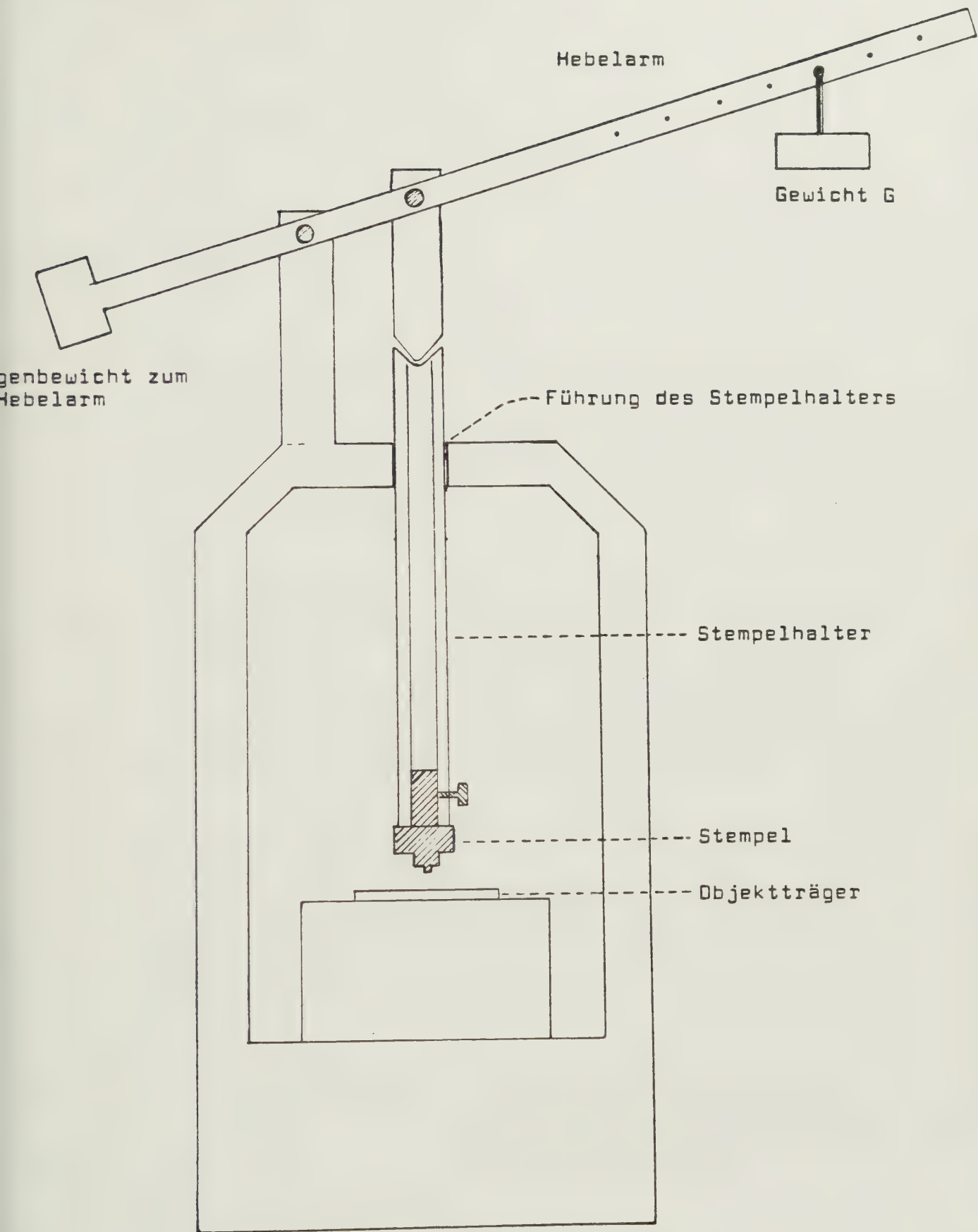


Abb. 7: Darstellung des Konsistometers für die Versuche zur impulsfreien Belastung

4.2. Darstellung der Ergebnisse

4.2.1. Impulsbelastung

Einleitend sei erwähnt, daß alle in dieser Arbeit gemachten Versuche, außer die in diesem Kapitel unter b) gezeigten, Impulsbelastungsversuche darstellen. An dieser Stelle soll jedoch der Mechanismus der Farbabgabe bei Einwirkung eines Impulses auf ein Okklusionsmarkierungsmaterial untersucht werden.

Dabei geht es, wie bereits angedeutet, um die Frage, ob der Patient beim Zubeißen auf ein Okklusionsmarkierungsmaterial die reflektorische Dämpfung der Zubeißbewegung soweit wie möglich ausschalten soll, d. h. soll er hacken oder soll er zubeißen unter reflektorischer Dämpfung des Impulses und danach pressen. Letzteres dürfte die normale Reaktion eines Patienten sein, bei der Aufforderung: "Beißen Sie bitte einmal kräftig zu!"

Im gezeigten Artikulatormodell wirkt ein ungedämpfter Impuls, wobei sich zeigte, daß bereits ein sehr kleiner Impuls (Fallhöhe 1^0) ausreichte, um bei allen getesteten Materialien eine Zeichnung zu bewirken. Dabei zeigten sich zwei Mechanismen der Farbabgabe, abhängig vom anfangs gezeigten Aufbau der Testmaterialien:

- Farbschichtablösung: Es lösen sich plastische Farbpartikel (Farbinseln) vom Farbträger bei den beschichteten Materialien (Folien und alle Papiere außer "Bausch Artikulationspapier BK 01/02/05")
- Farbauspressung: Zähflüssige Farbe wird aus einer Schwammstruktur ausgepreßt (bei allen Seiden und dem "Bausch Artikulationspapier BK 01/02/05")

Die gewählte Versuchsanordnung eignet sich nicht, um in den Grenzbereich des Zeichnungsverhaltens bei Einwirkung kleiner Impulse vorzudringen. Diese Problematik wird im Kapitel "Zeichnungsverhalten bei reduziertem Druck" genauer analysiert. Hierzu wurde ein neuer Versuchsaufbau notwendig. Die Ergebnisse werden deshalb in einem gesonderten Kapitel betrachtet, um den Gegensatz, Verhalten bei Impulsbelastung, Verhalten bei impulsfreier Belastung, an dieser Stelle nicht zu verwischen. Dennoch sei vor allem auf die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen im Kapitel "Zeichnungsverhalten bei reduziertem Druck" verwiesen, die den Mechanismus der Farbabgabe der einzelnen Materialien noch einmal deutlich zeigen.

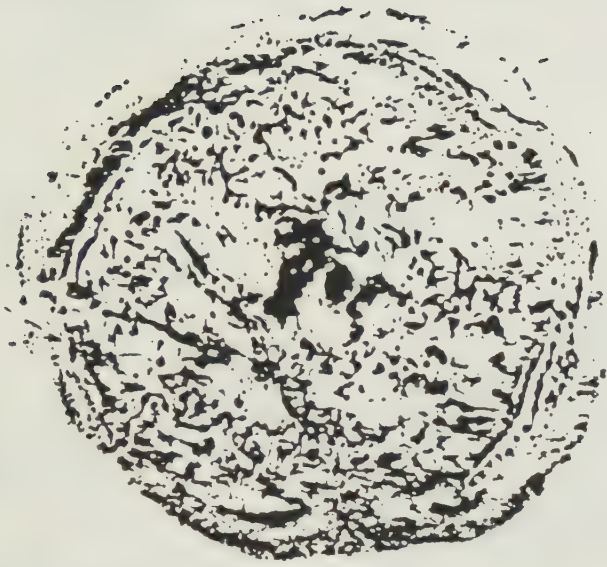


Abb. 8: Darstellung der
Zeichnung von 04 bei
Impulsbelastung:
Erkennbar ist vor
allem das intensiver
angefärbte Zentrum



Abb. 9: Darstellung der
Zeichnung von 91 bei
Impulsbelastung:
Wir erkennen das
kaum angefarbte Zen-
trum mit Verdrängung
der Farbe zum Rand



Abb. 10:

Darstellung der Folie 16
im Rasterbild nach Im-
pulsbelastung.
Deutlich wird vor allem
das bruchstückhafte Lösen
von Farbinseln



Abb. 11:

Darstellung der Folie 13
im Rasterbild nach Im-
pulsbelastung

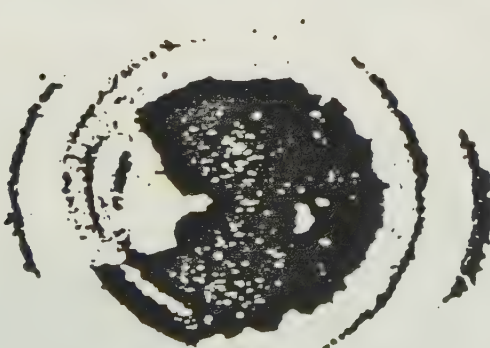


Abb. 12:

Darstellung der korres-
pondierenden Zeichnung
der Folie 13 zur Abb. 11

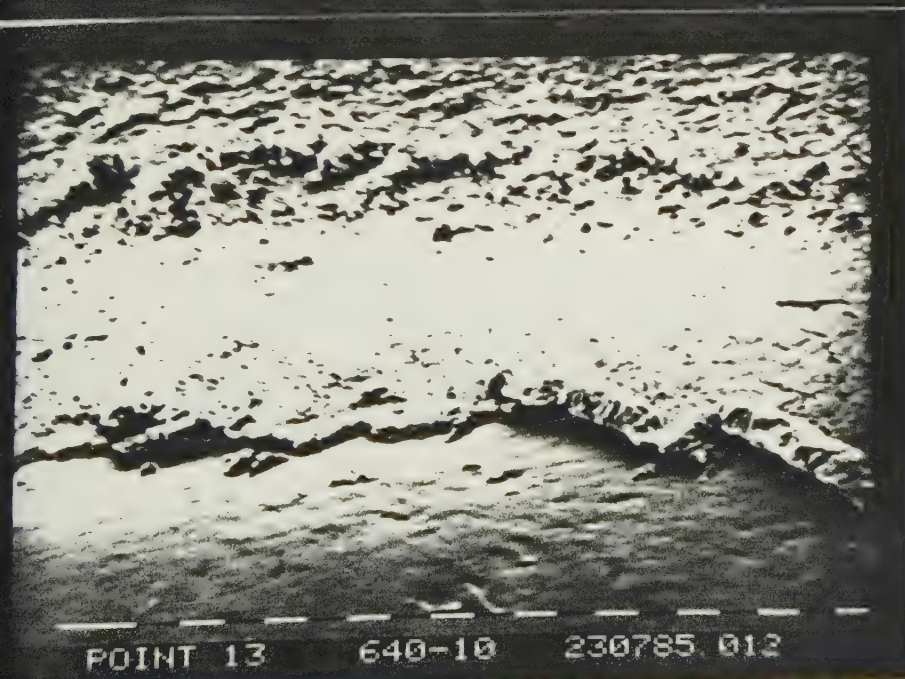
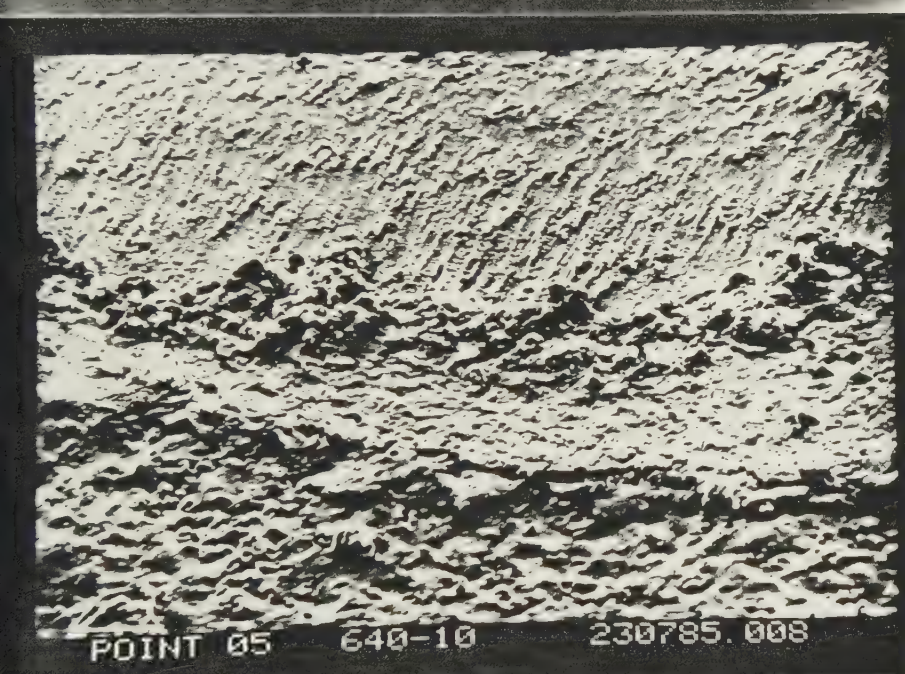
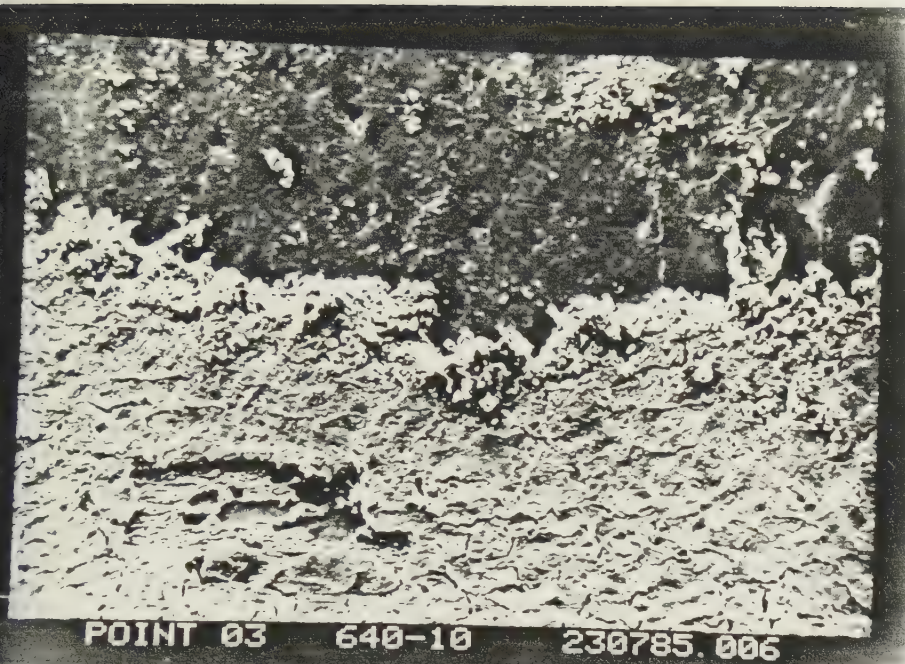


Abb. 13:

Rasterelektronen-
mikroskopische Auf-
nahmen der Folien
nach Impulsbelas-
tung.
Darstellung der
Randbereiche von
abgelöster Farbe.

Wir können drei
verschiedene Be-
reiche unterschei-
den:



isolierter
Farbträger nach
Farbabgabe

Farboberfläche

Übergangszone
(Farbwall)

03: brüchige Farbe

05: im Vergleich
rauhe Ober-
fläche der Me-
tallic-Folie

13: Randaufwer-
fungen der
Farbe



4.2.2. Impulsfreie Belastung

Wie aus 4.2.1. hervorgeht, zeichnen alle getesteten Materialien bereits bei relativ kleinen Impulsen (1^0 Fallhöhe, Gewicht des Artikulationsoberteils 493 g). Ohne diesen Impuls quantitativ näher zu beschreiben, kann man davon ausgehen, daß klinisch der Impuls bei bewußter Hackbewegung mit Sicherheit ausreicht, um eine Zeichnung zu erhalten. Allerdings können wir klinisch immer wieder feststellen, daß nur ein Teil der Okklusionskontakte dargestellt wird. Es ergibt sich somit, daß der begrenzende Faktor der Zeichnung bei der impulsfreien Belastung zu suchen ist. Natürlich kommen als weitere Faktoren die Zeichnungsunterschiede auf verschiedenen Materialien sowie der Einfluß der Feuchtigkeit, insbesondere des Speichels, hinzu. Diese Aspekte können in der Arbeit von D. Leicher (17) nachgelesen werden.

Wir haben bereits festgestellt, daß selbst beim Hacken der Hauptimpuls durch einige Kontakte abgefangen werden kann, und dann nur noch ein Restimpuls oder gar keine Belastung durch Pressen die restlichen Kontakte darstellen kann.

Bereits Vorversuche haben ergeben, daß alle getesteten Materialien (vor allem die Folien) sehr viel schlechter auf eine einfache Belastung als auf einen Impuls reagieren. Die Frage ist nun, ob klinisch bei maximalem Pressen die Kraft zur Farbabgabe des entsprechenden Materials ausreicht. Dazu folgende Überlegung:

Nach Laurell et al. (16) liegt die kurzfristige Maximalkraft der Kaumuskulatur bei 752 N. Dieser Wert entspricht der Erfahrung, daß ein Mensch sein eigenes Körpergewicht kurzfristig allein mit Hilfe der Kaumuskulatur tragen kann. Nach Hoffmann und Eismann

(10) liegt die Gesamtokklusalfäche des Normalverzahnten bei ca. 15 mm^2 . Daraus errechnet sich ein Maximaldruck von:

$$P_{\text{max}} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nach Fukuda (6) liegt die durchschnittliche Okklusalkraft am ersten Molaren bei 10,85 "kg", die korrespondierende Okklusalfäche des ersten Molaren bei $2,03 \text{ mm}^2$. Dabei geht nicht ausdrücklich aus dem Text hervor, daß es sich um die Maximalkraft handelt, was jedoch aus Gründen der Reproduzierbarkeit des hohen Wertes sowie der anschließend gezeigten Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Laurell et al. (16) anzunehmen ist. Aus diesen Werten ergibt sich ein Maximaldruck von:

$$P_{\text{max}} = \frac{10,85 \text{ "kg"}}{2,03 \text{ mm}} \approx 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Diesen nun doppelt bestätigten Wert von 50 N für den okklusalen Maximaldruck wollen wir als Richtwert für die Beurteilung der Farbabgabe der getesteten Materialien benutzen. Dabei ist jedoch folgendes zu berücksichtigen:

- Es handelt sich um den okklusalen Maximaldruck.
- Es handelt sich bei den Angaben von Laurell und Lundgren um eine kurzfristig auftretende Kraftspitze. Die Maximalkraft gemessen im Sekundenbereich wird mit 163 N angegeben und beträgt damit nur ca. 20 % des Wertes der Kraftspitze.

- Es handelt sich bei den Ergebnissen von Fukuda um den ersten Molaren.

Aus diesen Gründen kann als sicher gelten, daß bei normaler Okklusionskontrolle mitunter wesentlich geringere Drücke vorkommen.

Als zusätzliche Orientierungshilfe mag ein weiterer Wert aus der Untersuchung von Laurell et al. (16) dienen:

Die mittlere Kaukraft beim Kauen von Erdnüssen liegt bei 26 N. Legen wir wieder eine Okklusalfäche von 15 mm² zugrunde, so ergibt sich ein Druck von:

$$P_{\text{Erdnuß}} = 1,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Dieser Wert entspricht einer Belastung des Okklusionsmarkierungsmaterials von nur ca. 170 g, der Wert von 50 N dagegen einer Belastung von ca. 5 kg.

Tab. 6: Darstellung der Ergebnisse der impulsfreien Belastung:

BELASTUNG MATERIAL	STEMPEL	180 g	1 kg	2 kg	4 kg	8 kg	16 kg
03	Zylinder						
03	Kugel						xx
03'	Zylinder					x	x
03'	Kugel				x		xx
05	Zylinder						
05	Kugel						x
13	Zylinder					x	x
13	Kugel			x	x	x	
16	Zylinder		x	x	x	xx	xx
16	Kugel	x					xx
02	Zylinder		x	xx	xx	xx	xx
02	Kugel		xx	xx	xx	xx	xx
04	Zylinder		x	x	x	x	x
04	Kugel		x	x	x	xx	xx
14	Zylinder				x	x	xx
14	Kugel				x	x	xx
34	Zylinder	x	x	x	x	x	xx
34	Kugel				x	xx	xx
62	Zylinder		x	x	x	xx	xx
62	Kugel			x	x	xx	xx
82	Zylinder	xx	xx	xx	xx	xx	xx
82	Kugel	xx	xx	xx	x	xx	xx
11	Zylinder	x	xx	xx	xx	xx	xx
11	Kugel	x		xx	xx	xx	xx
51	Zylinder	x	x	xx	xx	xx	xx
51	Kugel	x	xx	xx	xx	xx	xx
71	Zylinder	x	xx	xx	xx	xx	xx
71	Kugel	x	xx	xx	xx	xx	xx
91	Zylinder	xx	xx	xx	xx	xx	xx
91	Kugel	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Die Tab. 6 zeigt in dieser Übersicht die Ergebnisse bei impulsfreier Belastung. Dabei steht "x" für eine schwache Zeichnung, "xx" für eine deutliche Zeichnung. Die Ergebnisse wurden ohne optische Hilfsmittel ausgewertet.

Stempelspezifisches Verhalten:

Die beiden gewählten Modelle:

1. ein Zylinder mit 1 mm Durchmesser, plan, und
2. eine Kugel mit 16 mm Durchmesser,

zeigen vergleichbare Ergebnisse.

In zwei Fällen (34, 62) zeichnete der Zylinder bei geringerem Druck, in sechs Fällen (03, 03', 05, 13, 16, 02) die Kugel und in sieben Fällen zeichneten beide Stempel bei identischem Druck.

Es zeigt sich somit, daß das flächenhafte Ausstanzen von Farbe beim Zylinder mit mehr Schwierigkeiten verbunden zu sein scheint, als das Auspressen mit zentraler Druckspitze im Falle der Kugel. Deutlich wird dies auch bei 04, wo wir beim Zylinder in allen Fällen ein deutlich schwächeres Farbverhalten haben.

Materialspezifisches Verhalten:

Grundsätzliches: Wie bereits gesagt, dient als Orientierung die maximale Kaukraft von 50 N/mm^2 . Im

Fälle des Zylinders würde dies der 4 kg-Marke entsprechen¹⁾.

In unserem Versuch entsprechen Werte bis 4 kg also physiologisch möglichen Kaudrücken.

Der Versuchsaufbau ermöglicht bei Erhöhung der Versuchszahl für jedes Material ein exaktes Druckzeichnungsminimum festzulegen. Dieses würde natürlich nur für die impulsfreie Belastung gelten. Hier soll jedoch lediglich entschieden werden, ob bei entsprechendem Material eine Zeichnung im physiologischen Kaudruckbereich möglich ist.

Konkrete Ergebnisse:

- Folien: Bei 03, 05 und 13 können klinisch Situationen auftreten, bei denen wir allein aufgrund des Druckes keine Zeichnung finden. 16 zeigt ein gutes Ergebnis mit Farbabgabe bereits bei geringen Drücken.
- Papiere: Alle Papiere zeigen positive Ergebnisse, wobei allein 14 sich im Grenzbereich bewegt und 82 ein herausragendes Zeichnungsverhalten zeigt. 04 zeigt beim Zylinder ein schwaches Farbverhalten.
- Seiden: Die Seiden zeichnen allesamt bereits bei geringen Drücken, am intensivsten 91.

1) Zylinderdurchmesser = 1 mm $\Rightarrow$ Fläche A = 0,785 mm²
4 kg = 3,92 N $\Rightarrow p = \frac{F}{A} = \frac{3,92 \text{ N}}{0,785 \text{ mm}^2} = 49,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

5.1. Methodik

In diesem Kapitel sollen Unterschiede in der Zeichnungsgenauigkeit bei konstantem Druck herausgestellt werden. Es soll gezeigt werden, wie genau die einzelnen Materialien eine vorgegebene Struktur abbilden. Zur Auswertung kamen die Ergebnisse der Kugelversuche aus der Arbeit von D. Leicher (17). Dort wurde ein Artikulator mit fixierten Kondylen benutzt, der folglich nur eine Rotationsbewegung zuließ. Das Artikulatoroberteil, welches einen Plexiglasblock mit herausnehmbarer Plexiglasscheibe trug, wurde aus konstanter Höhe (Öffnungswinkel $11,5^{\circ}$) auf das Artikulatorunterteil fallengelassen. Dabei schlug die Plexiglasscheibe auf eine im Artikulatorunterteil fixierte Stahlkugel. Zwischen Oberteil und Unterteil des Artikulators befand sich das zu testende Material. Das Gewicht des Oberteils betrug dabei 460 g.

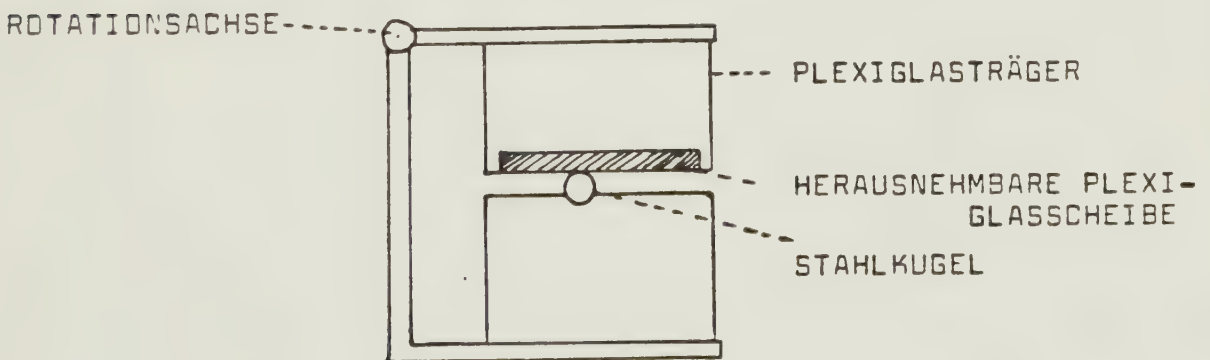


Abb. 14: Schemazeichnung des Artikulatorenaufbaues für die Kugelversuche

Es wurden bei den Versuchen Stahlkugeln mit drei verschiedenen Durchmessern benutzt:

1. 1,5 mm
2. 7,5 mm
3. 16 mm

Die herausnehmbare Plexiglasscheibe, die nun die Markierung des getesteten Materials trug, besaß die Größe eines Diarahmens. Entsprechend eines Diapositivs wurde die entstandene Markierung projiziert und die Umrisse der angefärbten Fläche abgezeichnet. Dabei fand eine Vergrößerung um den Faktor 65 statt. Für jedes Material und Kugeldurchmesser wurden 10 Versuche durchgeführt. Die abgezeichneten Umrisse wurden dann mit Hilfe eines Planimetriergerätes quantitativ erfaßt¹⁾.

5.2. Darstellung der Ergebnisse

Zur Darstellung kamen zwei Parameter:

1. AREA =
Fläche der entsprechenden Markierung in μm^2 .
2. FORM PE =
ein Formfaktor, wobei gilt:
Kreis = 1
Ellipse < 1
unregelmäßige Strukturen < 1

$$\text{FORM PE} = \frac{4\pi \cdot \text{Fläche}}{\text{Umfang}^2}$$

¹⁾ (MOP-Videopian)

Theoretisch erwarten wir bei Abbildung einer Kugel auf einer Fläche einen Punkt, praktisch einen Kreis, dessen Größe proportional der Dicke des Markierungsmaterials und der Dicke der Kugel ist.

Betrachten wir die Formel zur Errechnung des Formfaktors so erkennen wir, daß Werte kleiner als 1 durch einen überproportional großen Umfang zustande kommen. Hierbei sind zwei Möglichkeiten zu diskutieren:

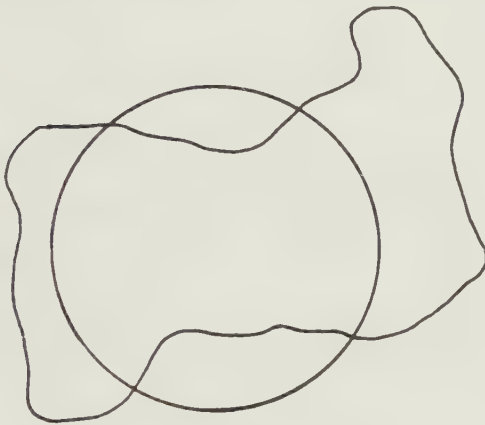


Abb. 15:

Verhalten der Folien und
Papiere

Die Form der Markierung weicht auch makroskopisch von der Kreisform ab. Dies zeigte sich bei den Folien und Papieren. Es handelt sich dabei um isolierte Farbaussprengungen eines zähplastischen Farbstoffes.



Abb. 16:

Verhalten der Seiden

Die Form der Markierung entspricht makroskopisch annähernd der Kreisform. Mikroskopisch (d. h. hier bei 65-facher Vergrößerung) erkennt man jedoch einen 'Briefmarkenrand', also nicht richtungsspezifische Farbspritzer eines relativ flüssigen Farbstoffes. Dieses Verhalten trat bei den Seiden auf.

Die Ergebnisse im einzelnen:

Die Abbildungen 18 - 31 zeigen jeweils die 'FORM PE' in Abhängigkeit von der gemessenen Fläche der Okklusionsmarkierungen (in μm^2). Dabei zeigt jedes computergezeichnete Schaubild die Ergebnisse von 30 Einzelmessungen. Die Verwendung der 1,5 mm Kugel ergab die kleinsten Flächenwerte, entsprechend links im Schaubild zu sehen. Nach rechts folgen die Ergebnisse der 7,5 mm Kugel, ganz rechts sind die Ergebnisse der 16 mm Kugel zu sehen. Die eingezeichnete Gerade zeigt die lineare Regression.

Unterhalb des jeweiligen computergezeichneten Schaubildes sind die Mittelwerte der 'FORM PE' und der 'AREA' graphisch dargestellt .

Tab. 7: Übersicht über die gefundenen Werte

MATERIAL	FORM PE		AREA (in μm^2)		1)
	Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung	
03	0,873	0,056	763000	315000	
05	0,890	0,037	669000	297000	
13	0,859	0,086	679000	256000	
16	0,868	0,062	790000	320000	
02	0,709	0,137	2128000	754000	
04	0,887	0,049	1100000	406000	
14	0,795	0,085	942000	301000	
34	0,873	0,072	1152000	378000	
62	0,750	0,075	1312000	383000	
82	0,747	0,126	1282000	318000	
11	0,583	0,216	1320000	644000	
51	0,597	0,172	1397000	702000	
71	0,539	0,171	1715000	787000	
91	0,680	0,108	1800000	951000	

1) (Die Mittelwerte sind Mittelwerte aus 30 Einzelversuchen, wovon 10 jeweils unter identischen Bedingungen (gleicher Kugelradius) gemacht wurden. Entsprechend hoch sind die Standardabweichungen der Flächen!)

Neben der Beurteilung der Randgenauigkeit interessiert natürlich, wie in der Arbeit von D. Leicher (17) ausführlich dargestellt, die Größe der dargestellten Markierung. Um eine Bewertung der einzelnen Materialien zu erleichtern, wurde im Vergleich der Flächenwert eines idealen Okklusionsmarkierungsmaterials graphisch dargestellt. Dieser wurde nach folgenden Überlegungen errechnet:

Nach den Ausführungen in Kapitel 2 (S. 4 - 14) können wir als ideale Dicke eines flächenbildenden Okklusionsmarkierungsmaterials $10\text{ }\mu\text{m}$ annehmen. Nehmen wir weiterhin an, die Kugel berührt nach erfolgter Markierung den entsprechenden Zeichnungsuntergrund (hier die Plexiglasplatte), sogelten die Beziehungen, die die folgende Zeichnung verdeutlicht. Die angenommene Berührung setzt natürlich einen ausreichend hohen Druck zur vollständigen Deformierung des Markierungsmaterials im Druckzentrum voraus. Weiterhin wurde angenommen, daß eine Randverdrängung von Farbe, falls dies stattfindet, nicht zu einer Zeichnung führen soll. Das Markierungsmaterial soll nur in dem Bereich zeichnen, in den die Kugel eindringt.

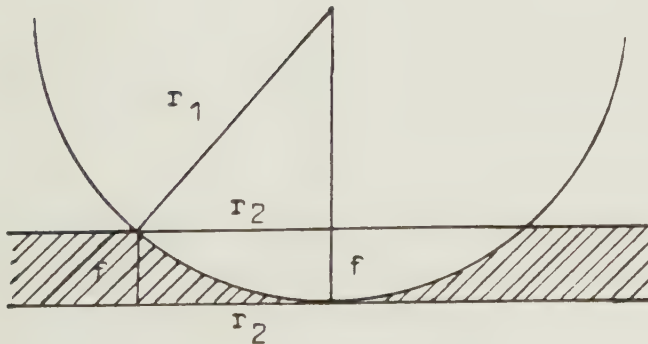


Abb. 17: Markierung einer Kugel auf einer Ebene

r_1 ist der Radius der Stahlkugel

r_2 ist der Radius der entsprechenden Markierung

f ist die Dicke des Markierungsmaterials

$$\text{Es gilt: } r_2^2 = r_1^2 + (r_1 - f)^2 \quad (1)$$

$$\text{Nach Umformung ergibt sich für } r_2 : r_2^2 = 2 r_1 \cdot f - f^2 \quad (2)$$

$$\text{Für die Fläche gilt dann: AREA} = \pi (2 r \cdot f - f^2) \quad (3)$$

Setzen wir die Werte der Kugelradien (1,5 mm, 7,5 mm, 16 mm) und den Wert für die Dicke des Markierungsmaterials ($f = 10 \mu\text{m}$) in die Gleichung (3) ein, so erhalten wir für den Mittelwert der Idealfläche $523000 \mu\text{m}^2$.

Abb. 18: Zeichnungsgenauigkeit der Folie 03

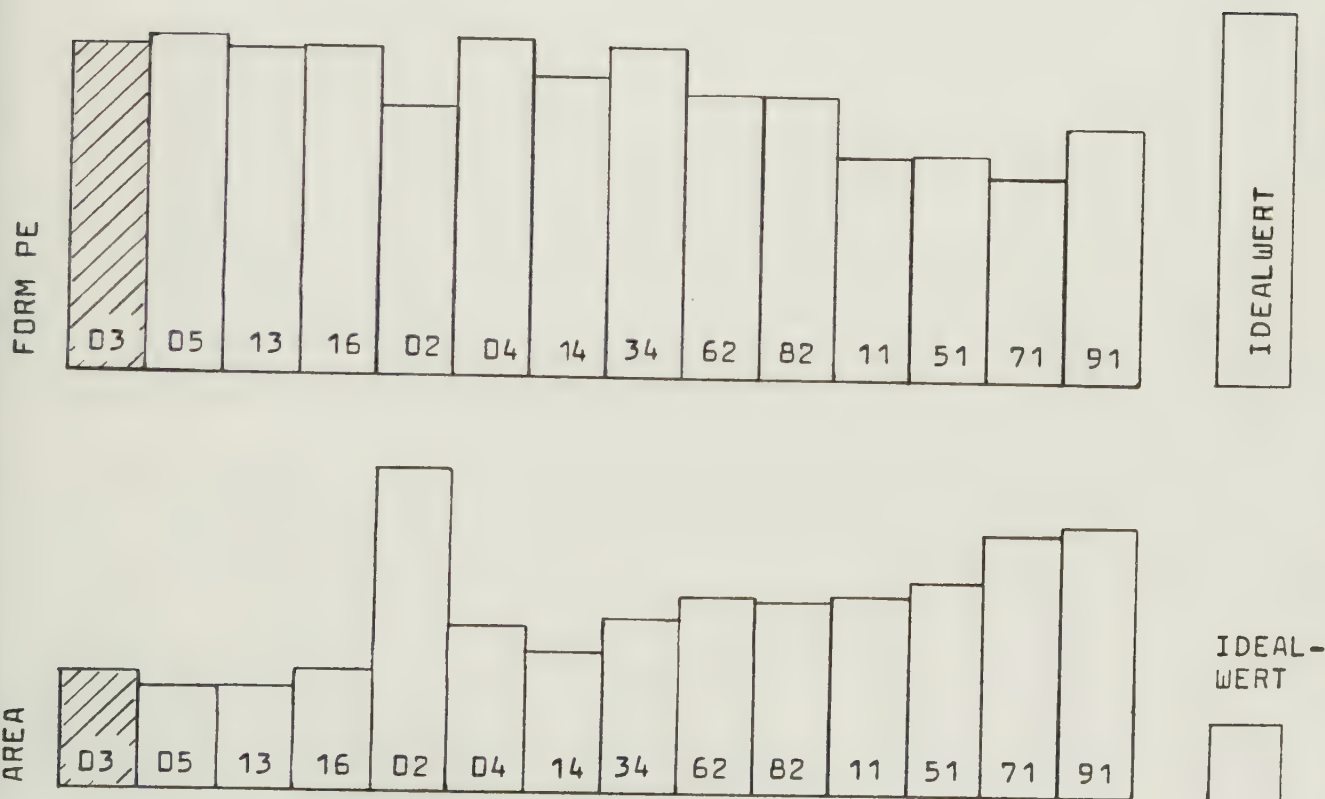
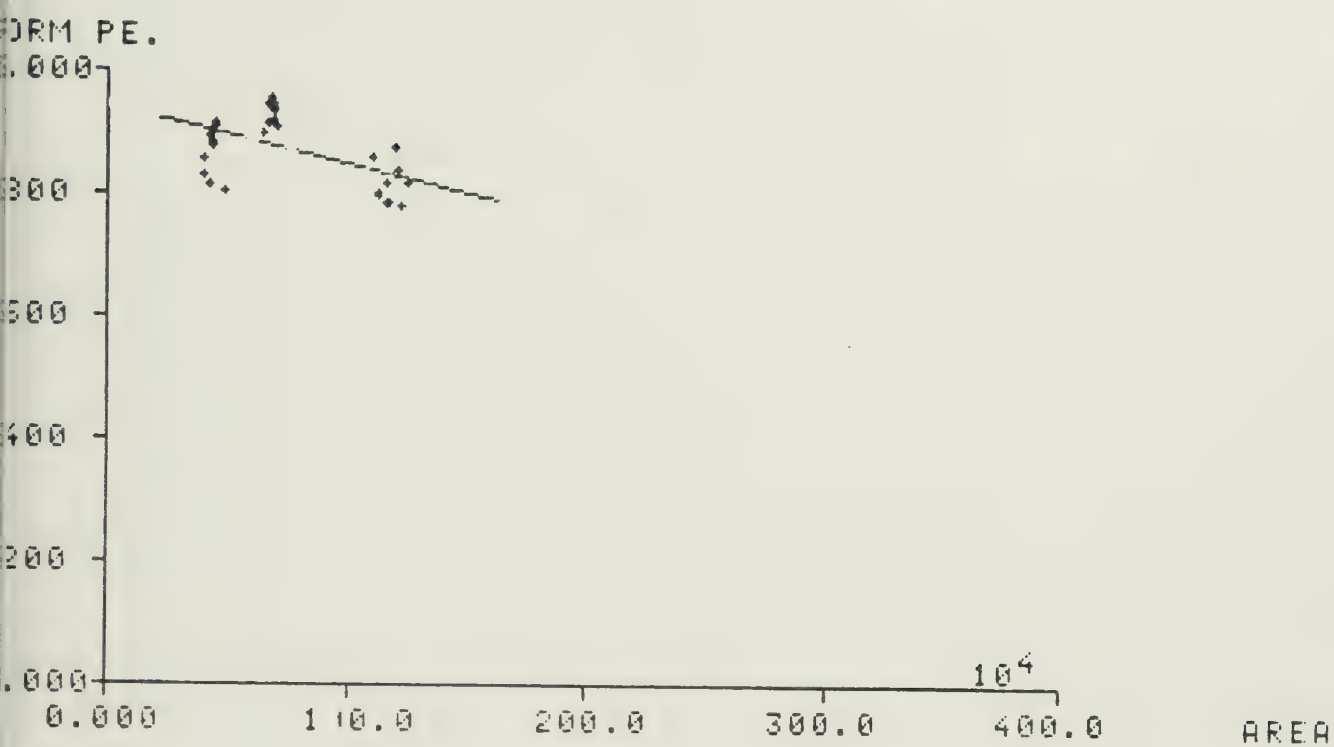


Abb. 19: Zeichnungsgenauigkeit der Folie 05

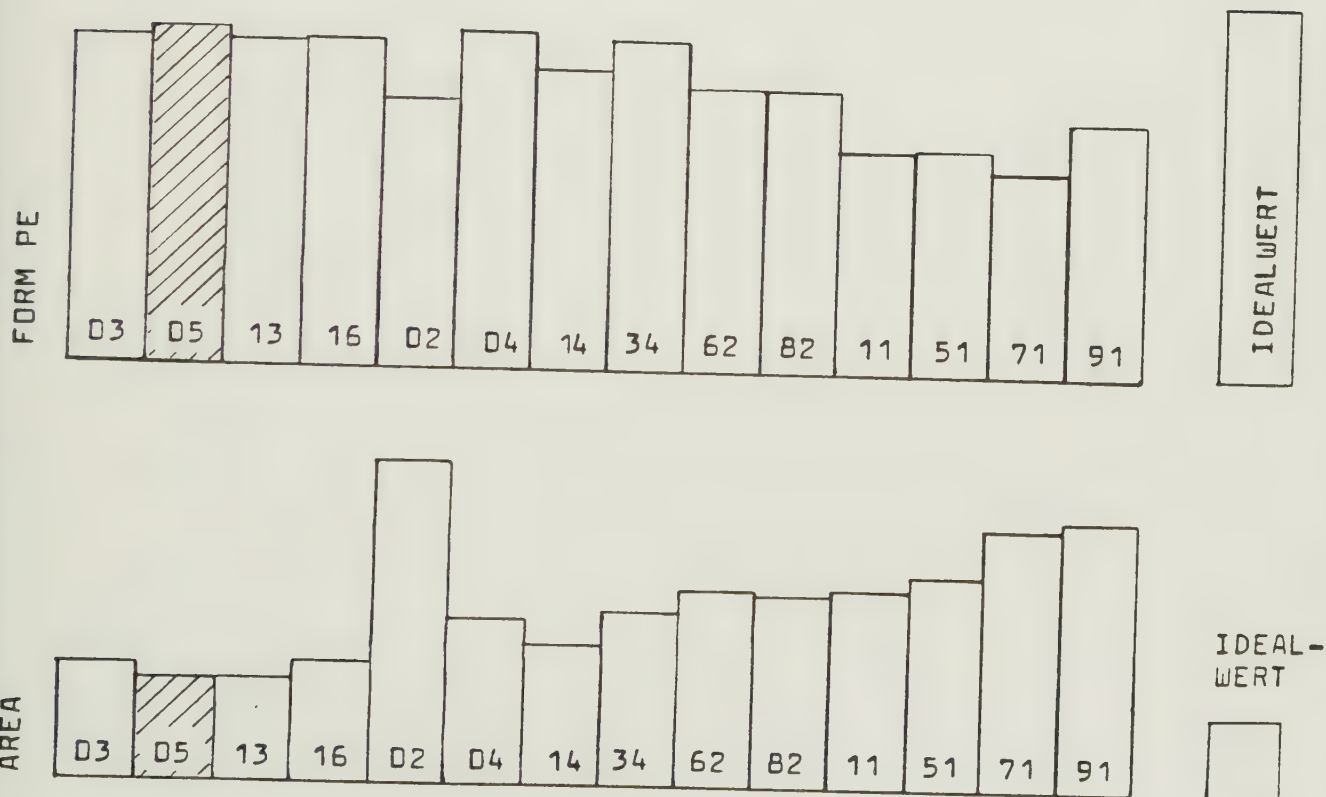
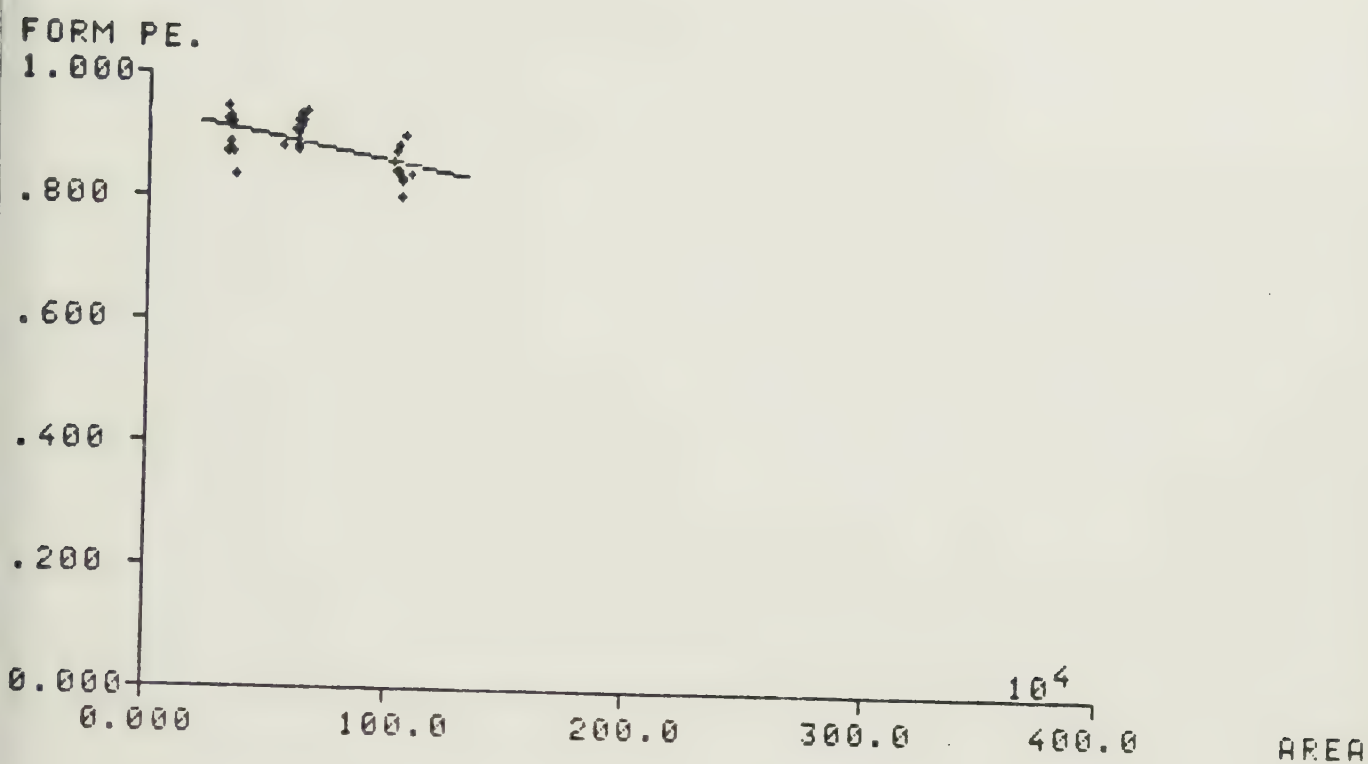


Abb. 20: Zeichnungsgenauigkeit der Folie 13

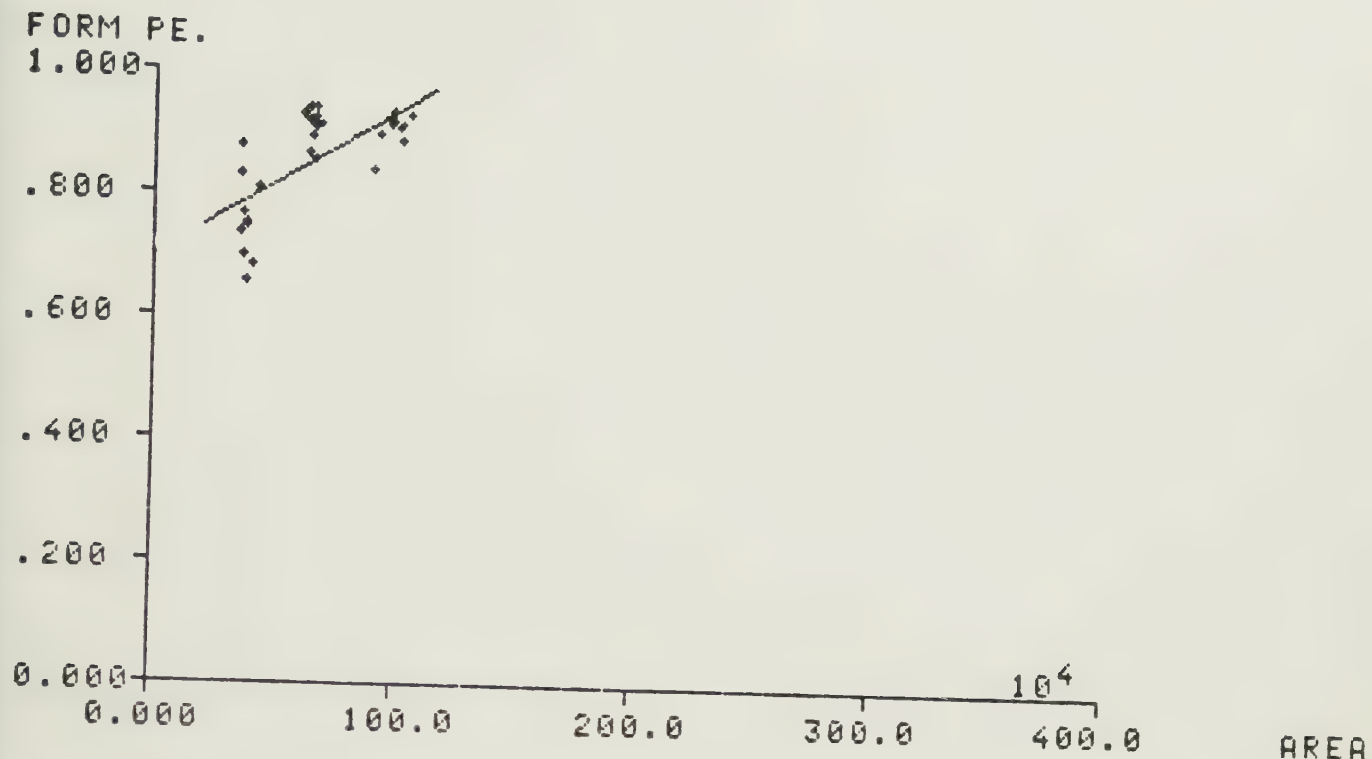


Abb. 21: Zeichnungsgenauigkeit der Folie 16

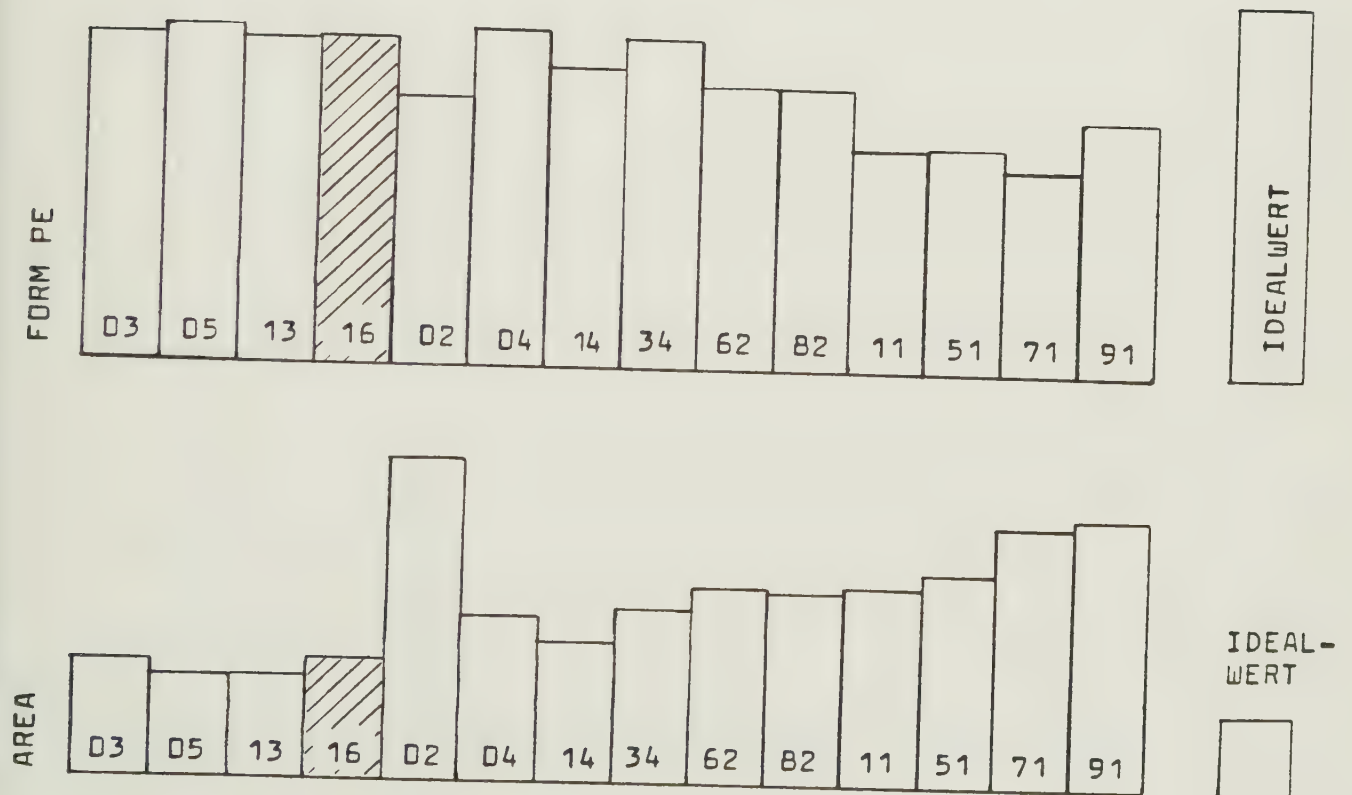
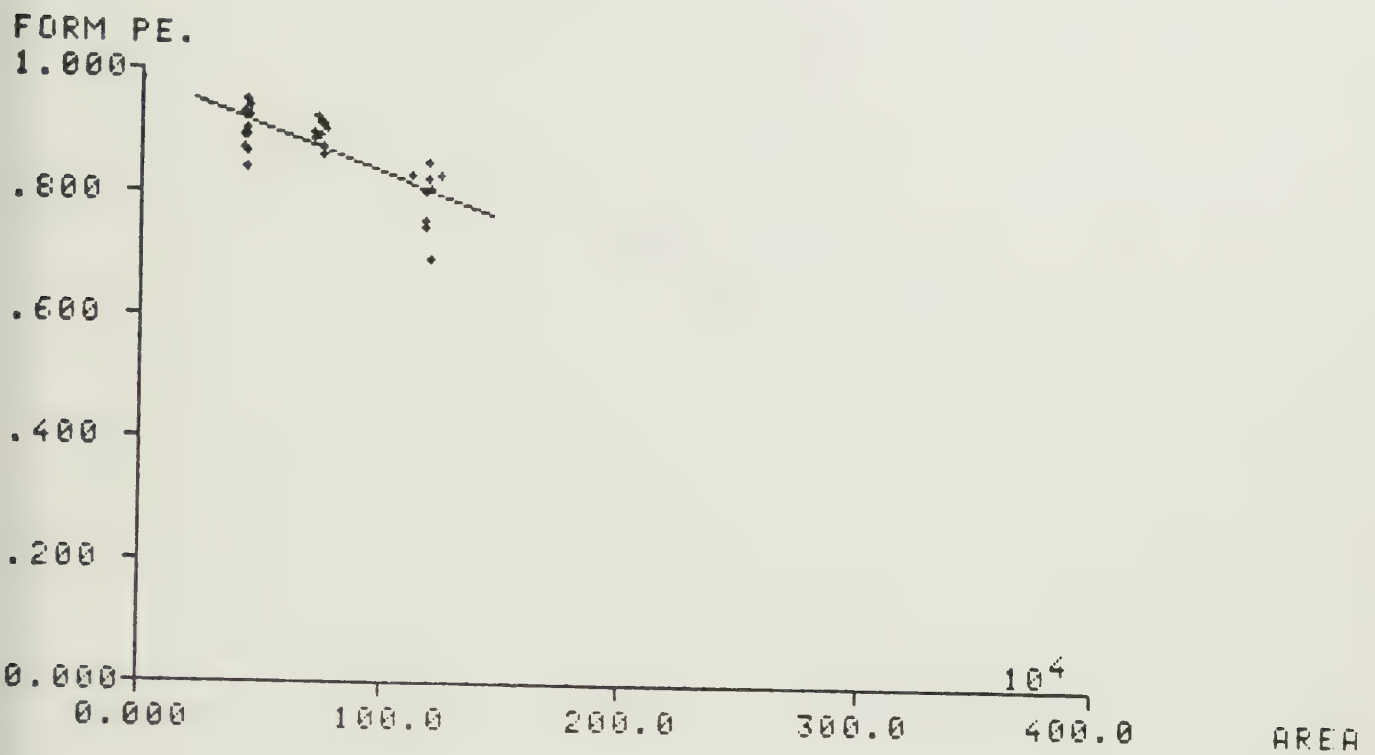


Abb. 22: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 02

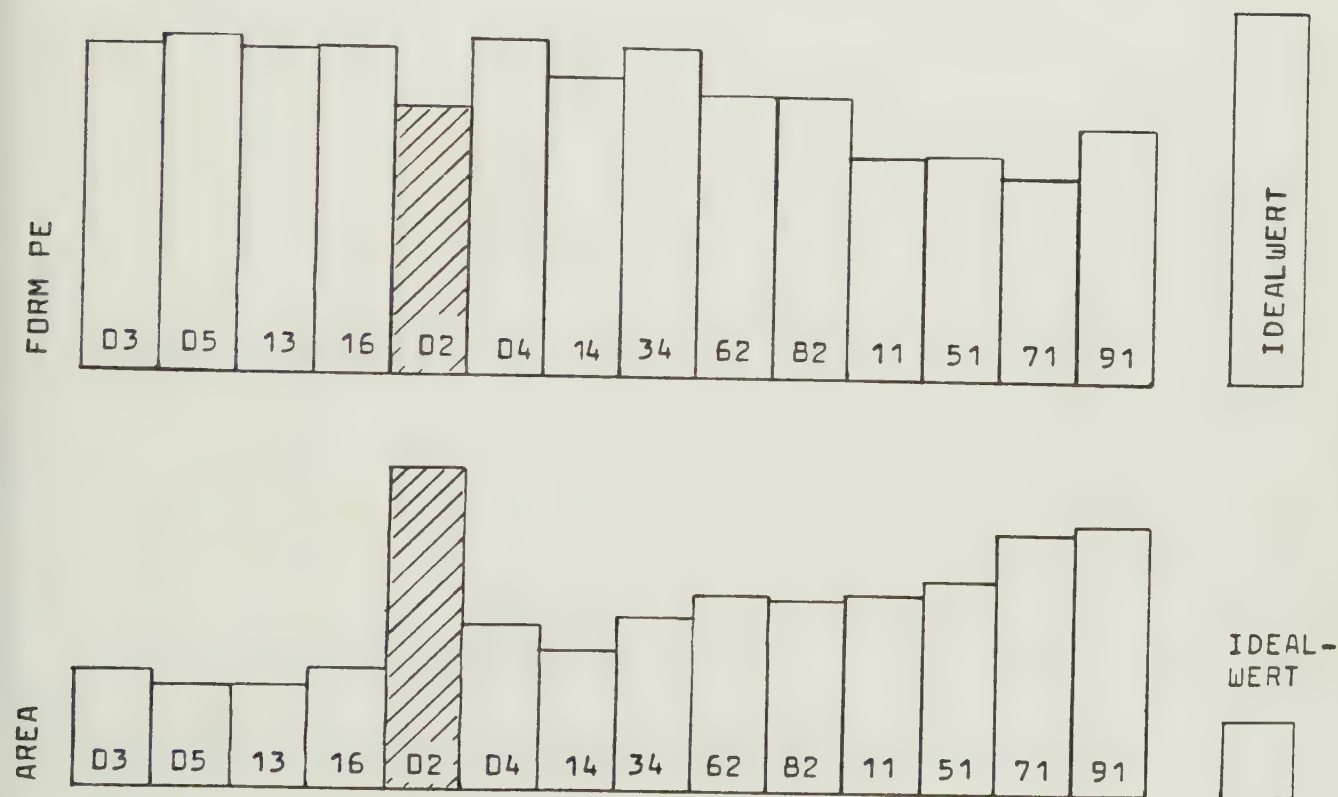
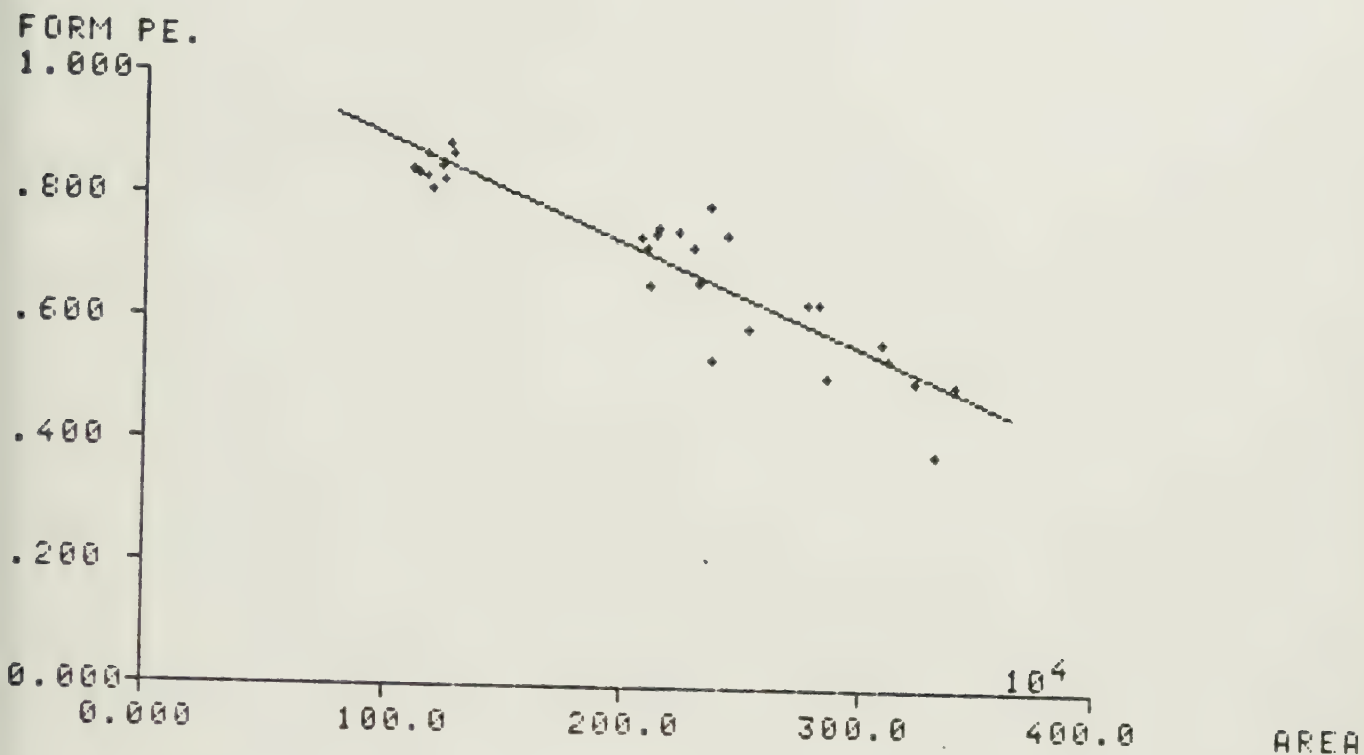


Abb. 23: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 04

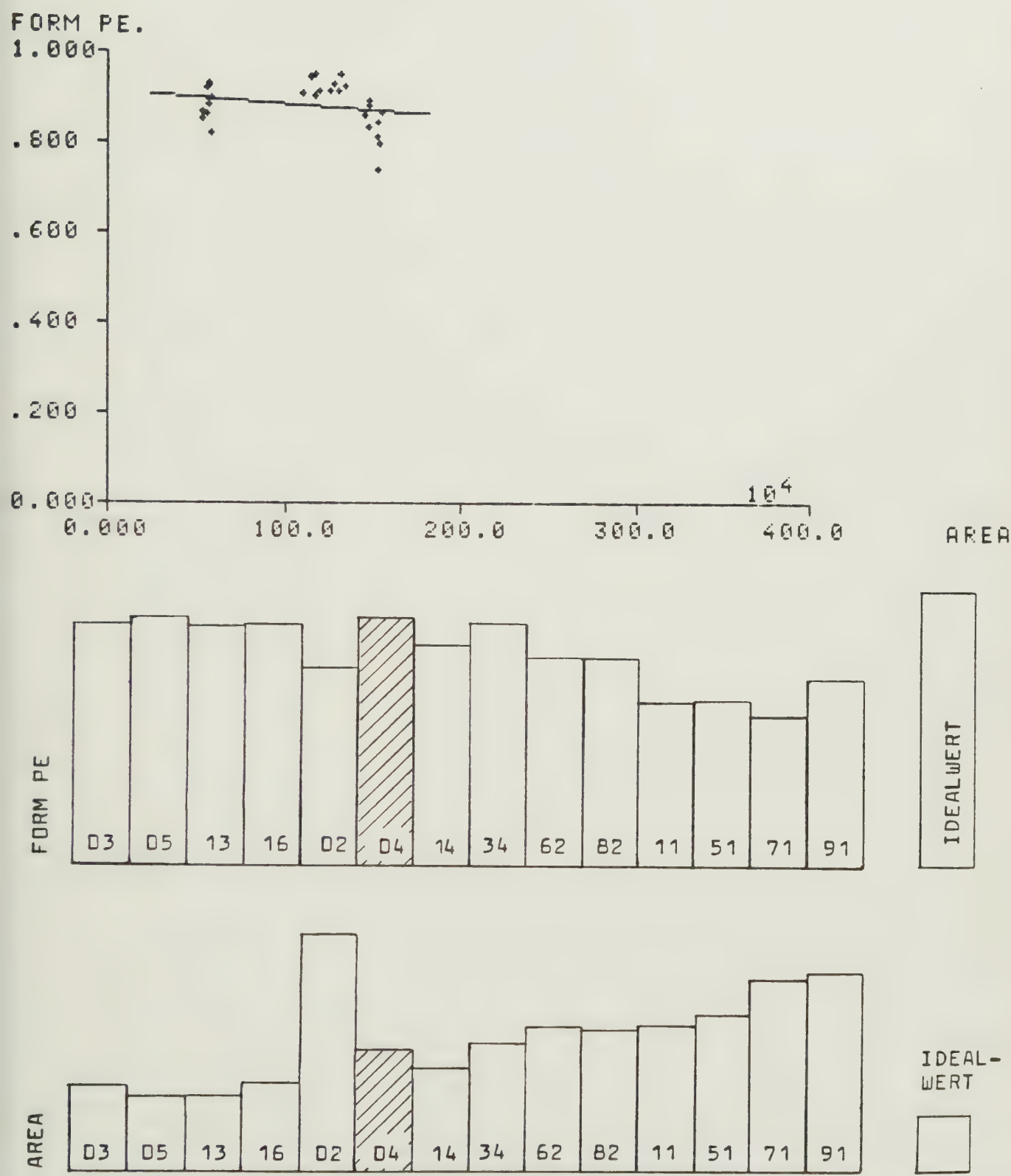


Abb. 24: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 14

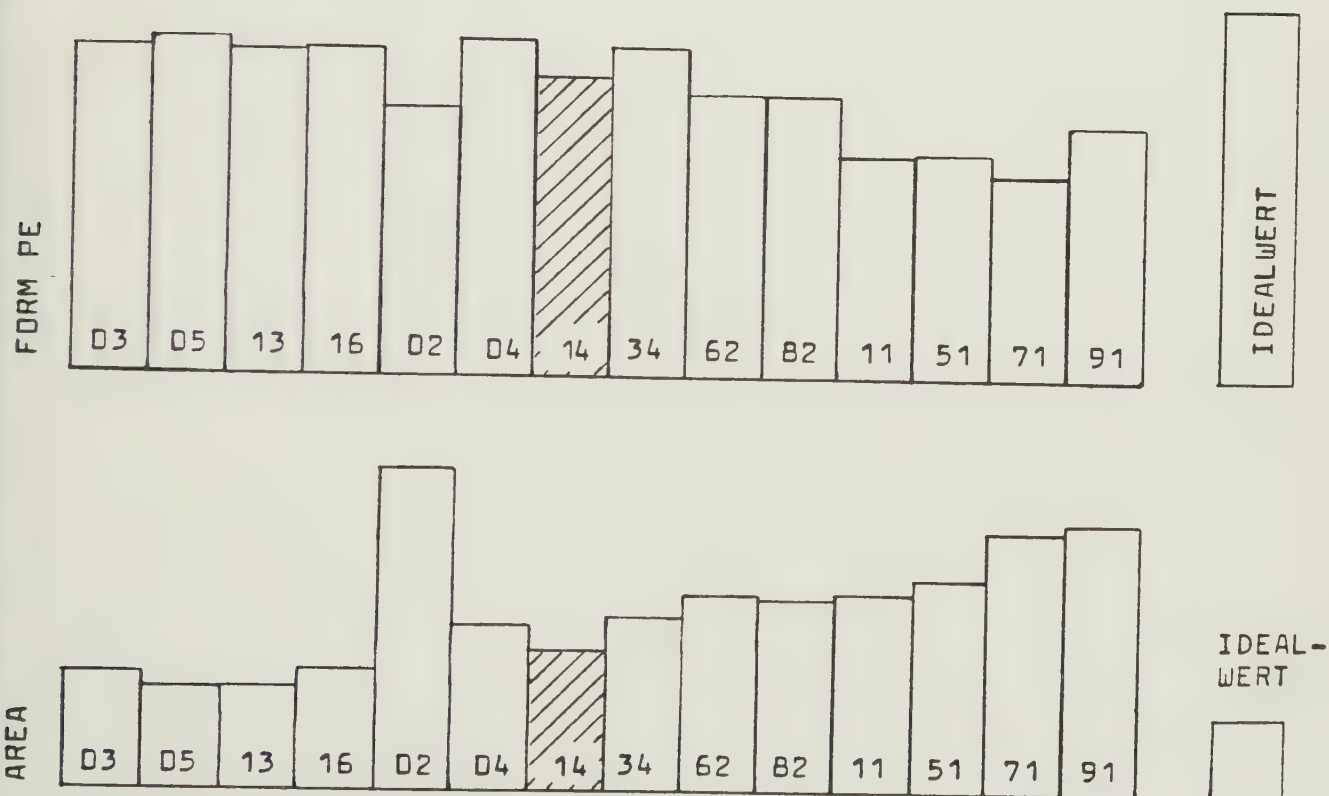
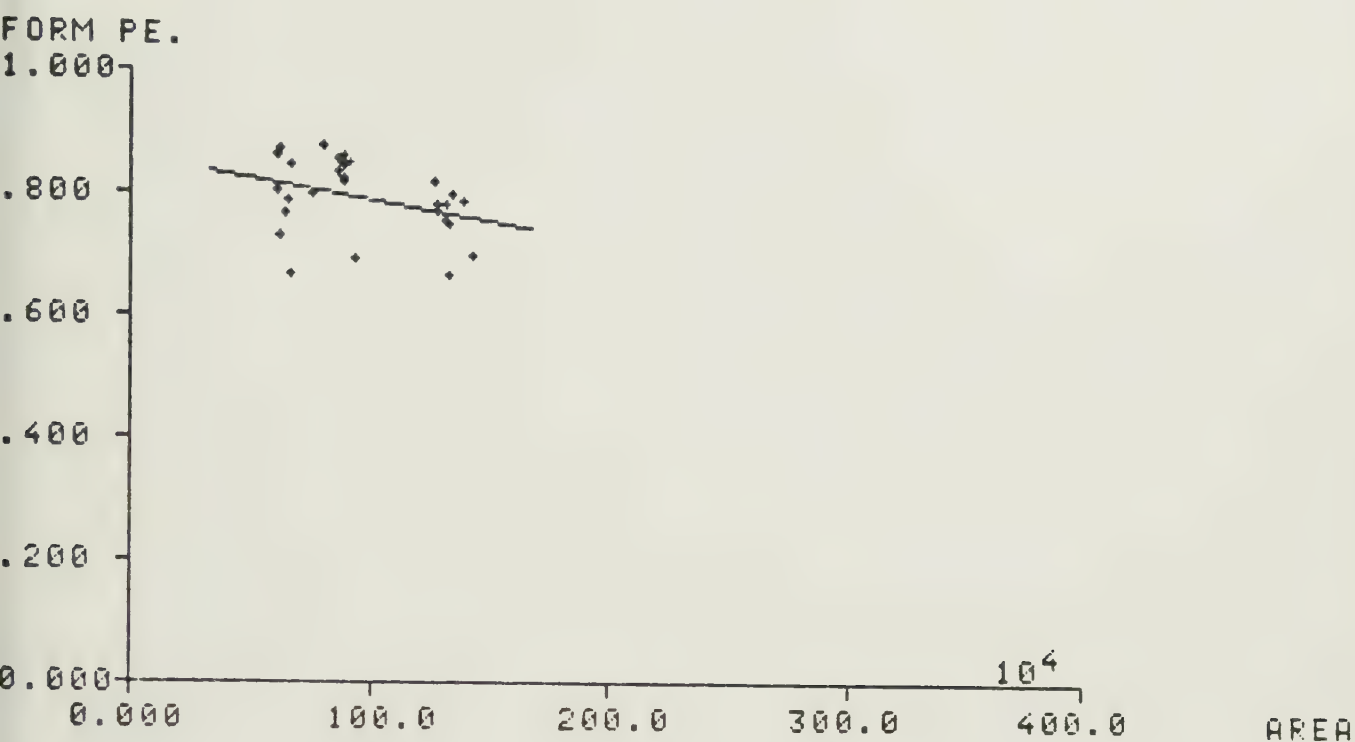


Abb. 25: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 34

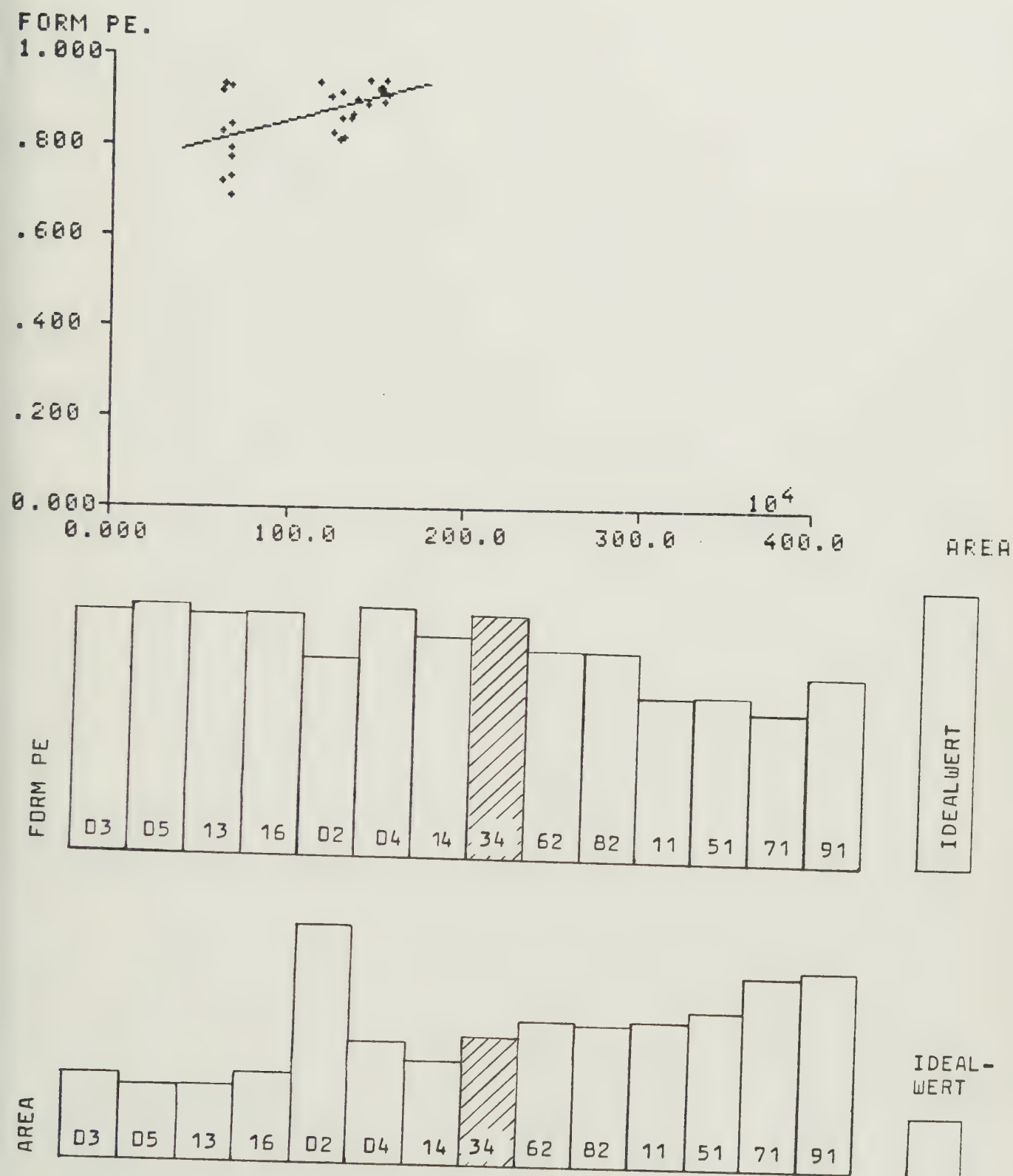


Abb. 26: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 62

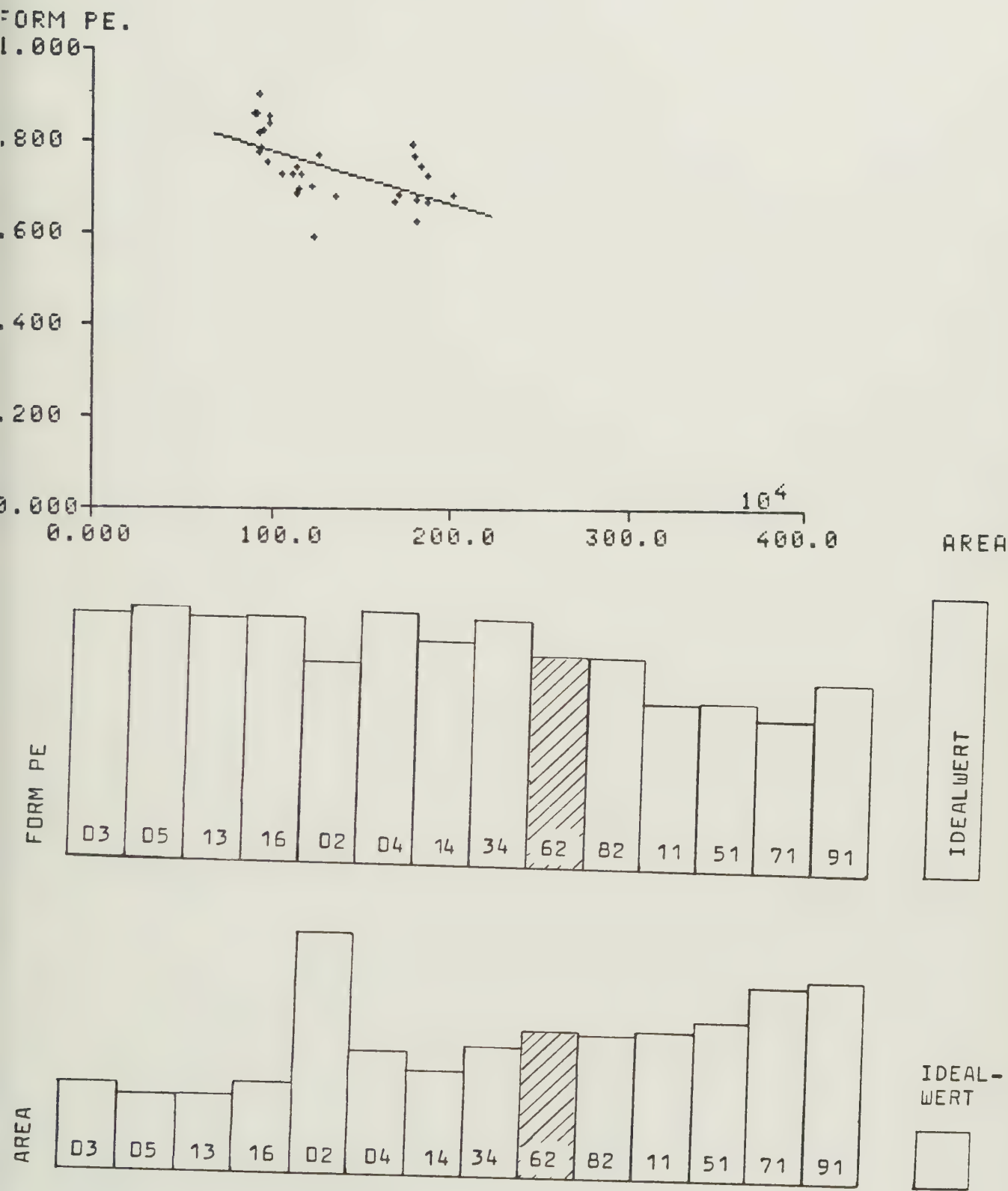


Abb. 27: Zeichnungsgenauigkeit des Papiers 82

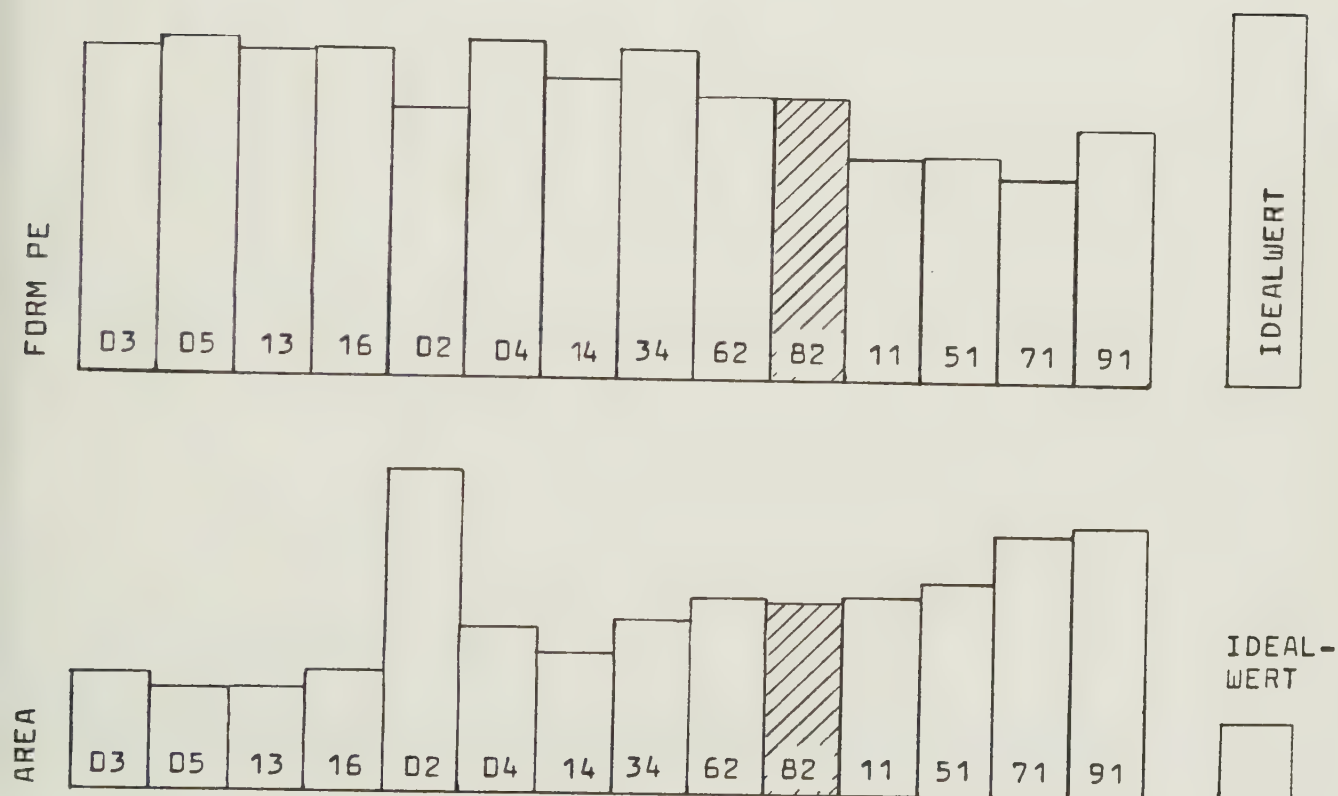
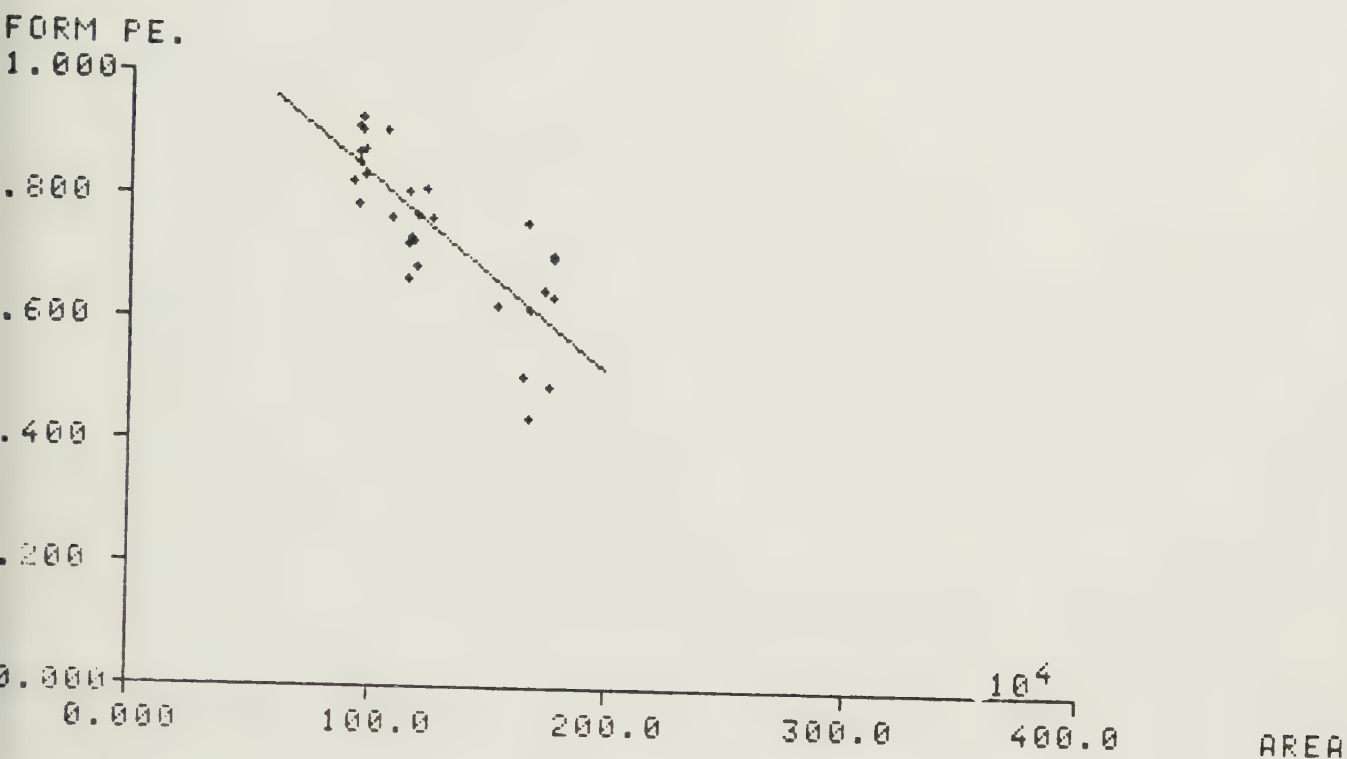


Abb. 28: Zeichnungsgenauigkeit der Seide 11

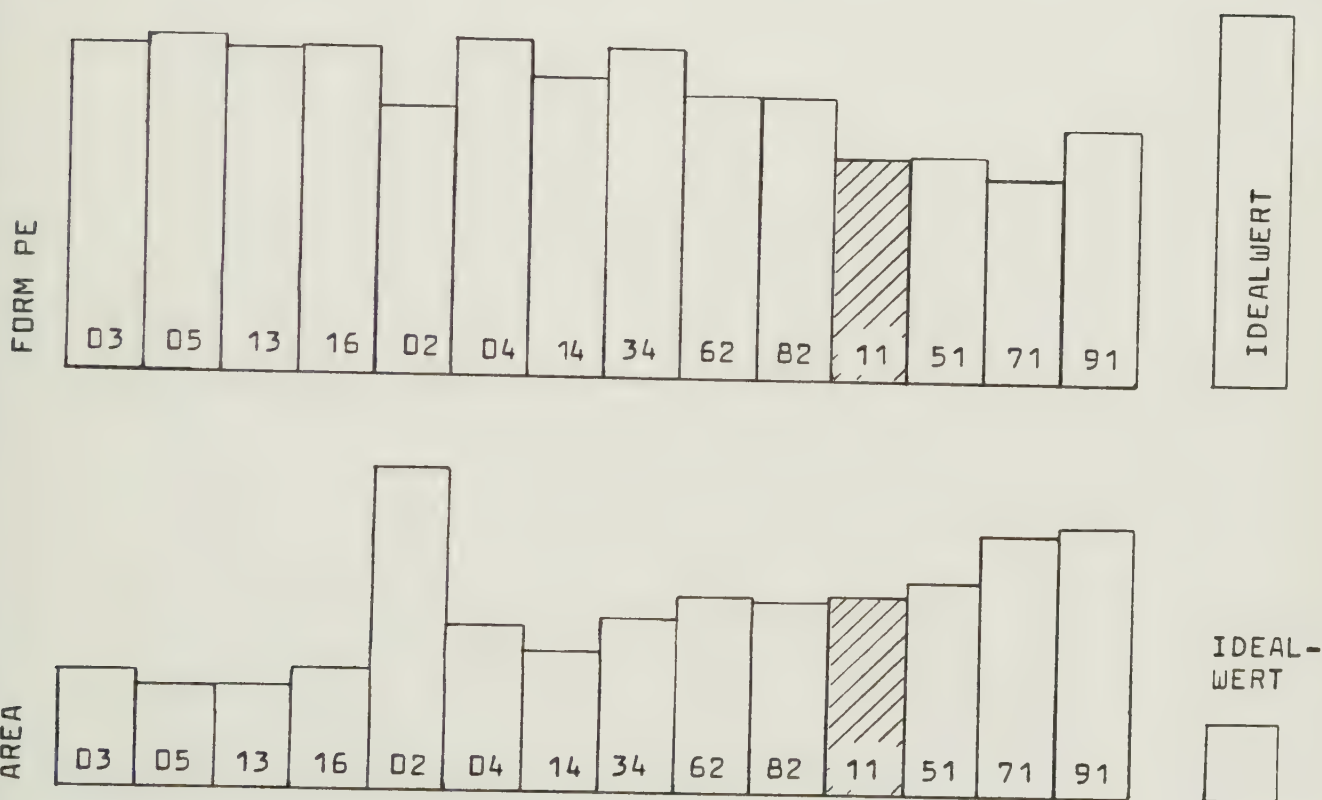
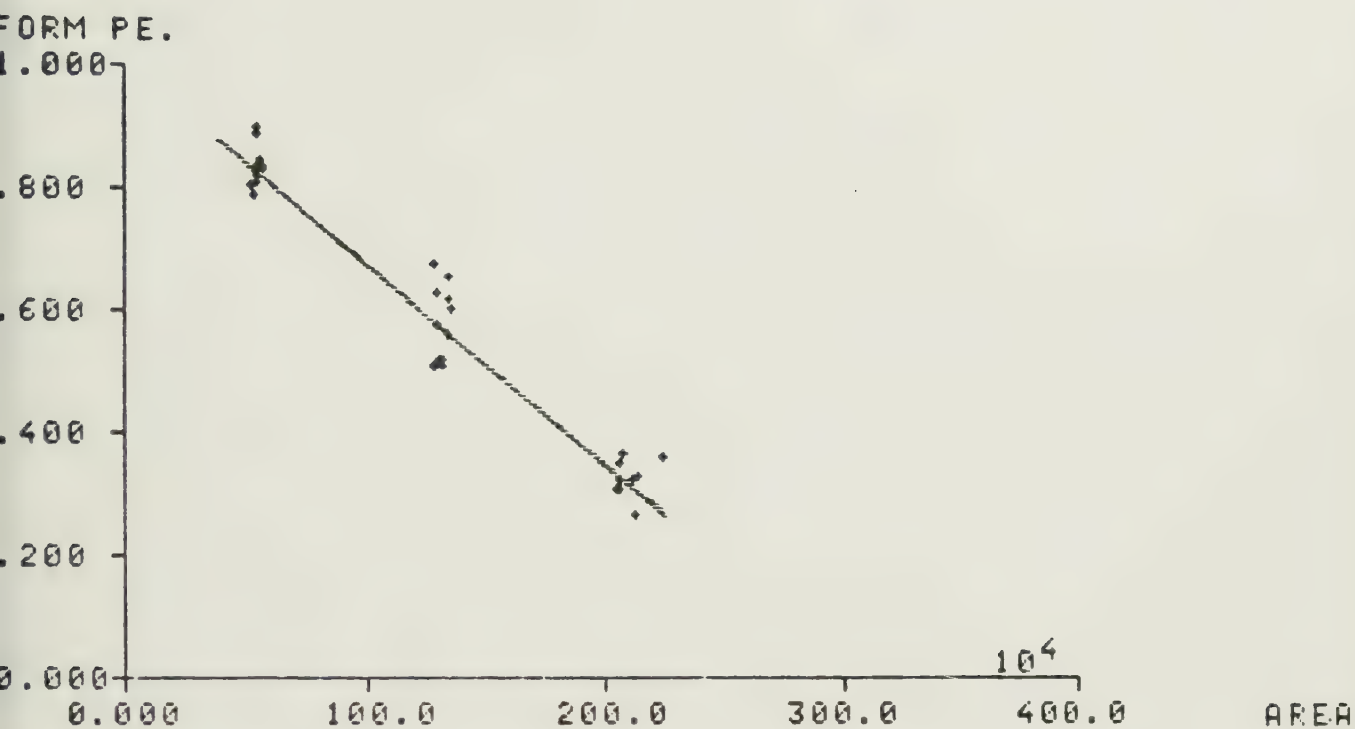


Abb. 29: Zeichnungsgenauigkeit der Seide 51

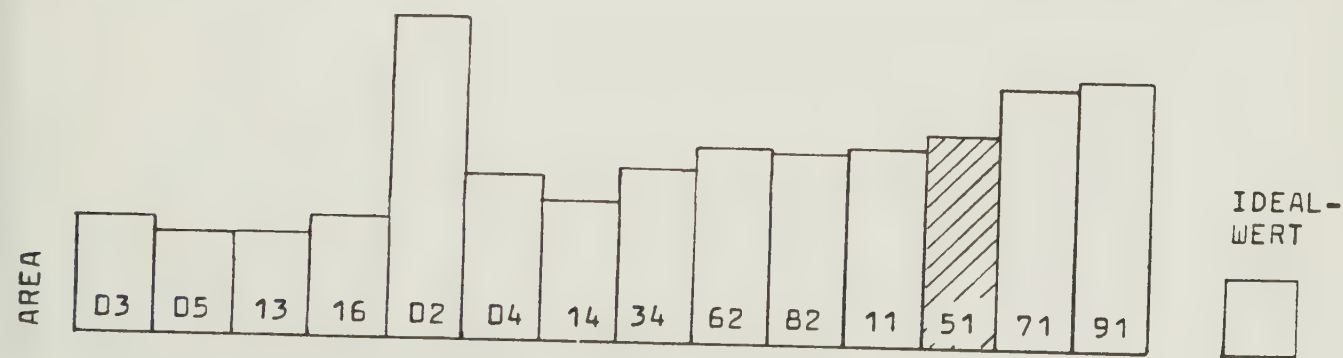
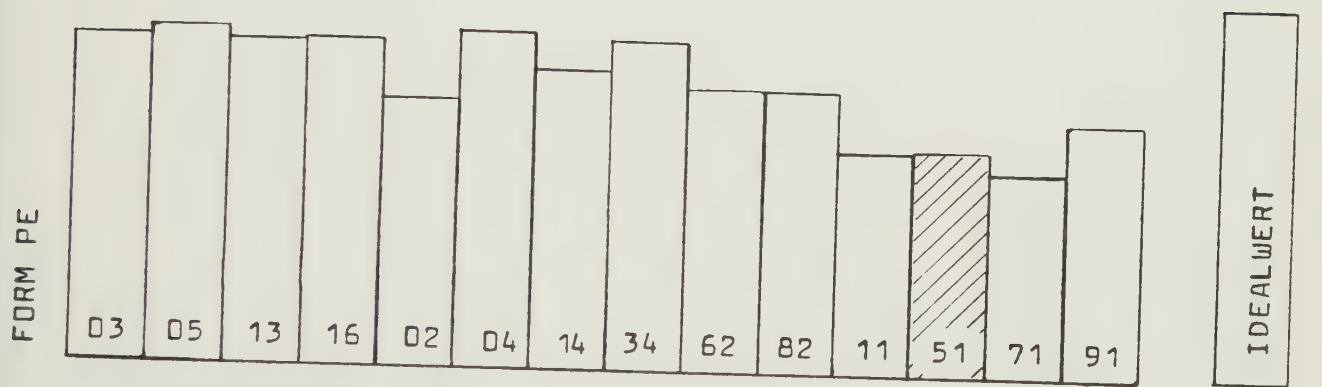
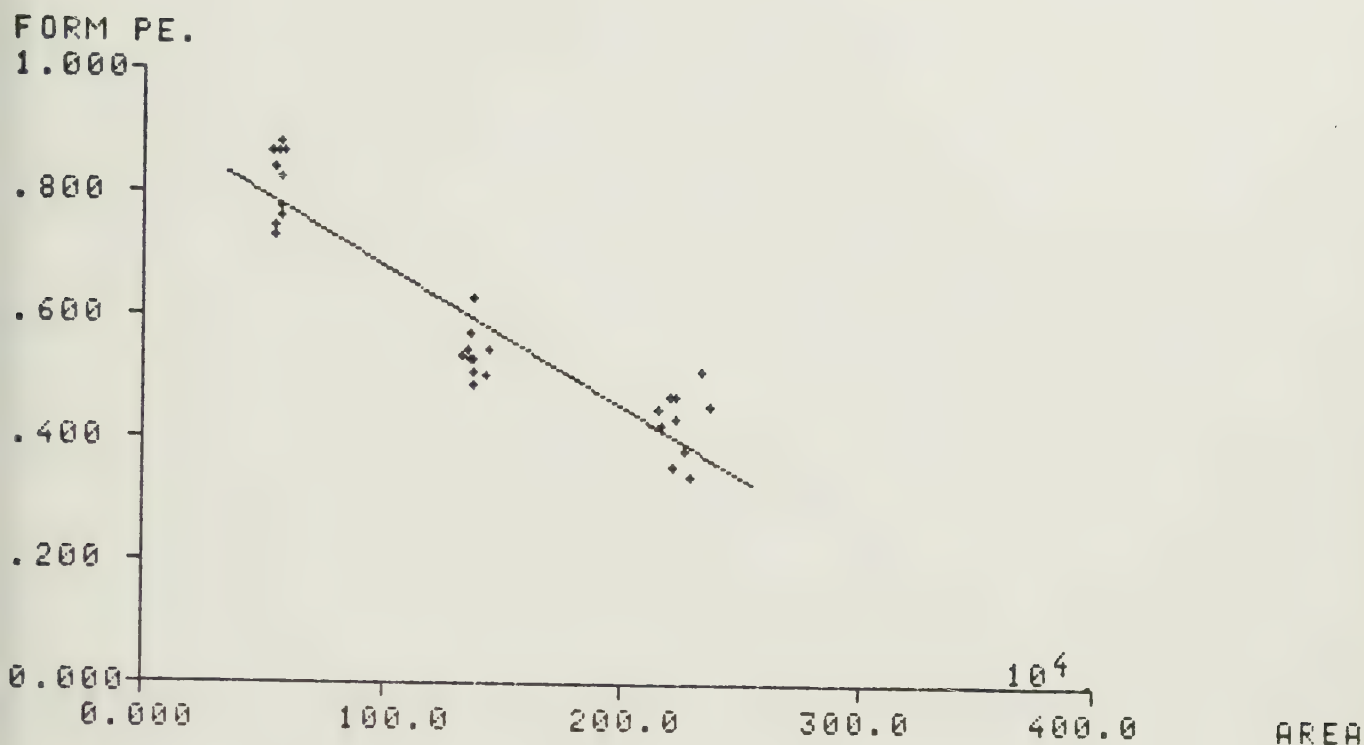


Abb. 30: Zeichnungsgenauigkeit der Seide 71

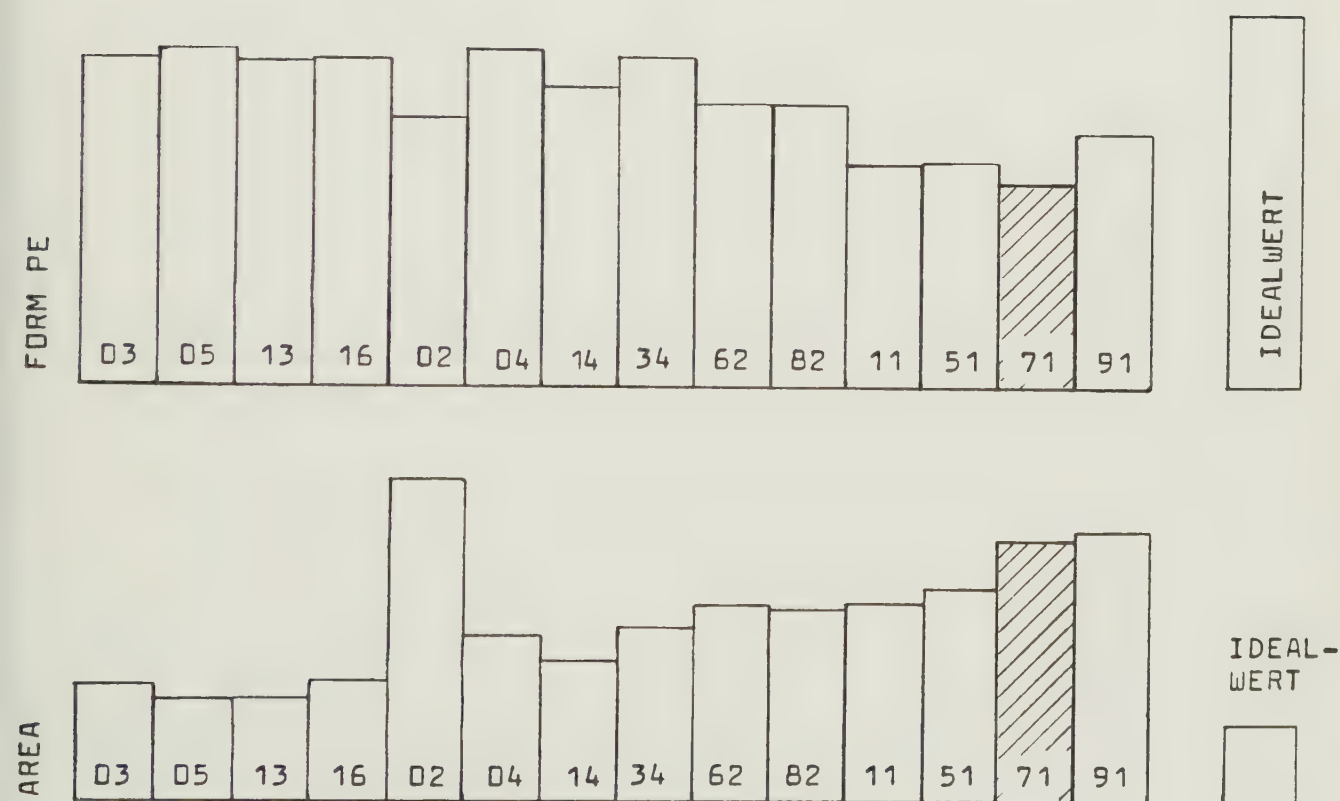
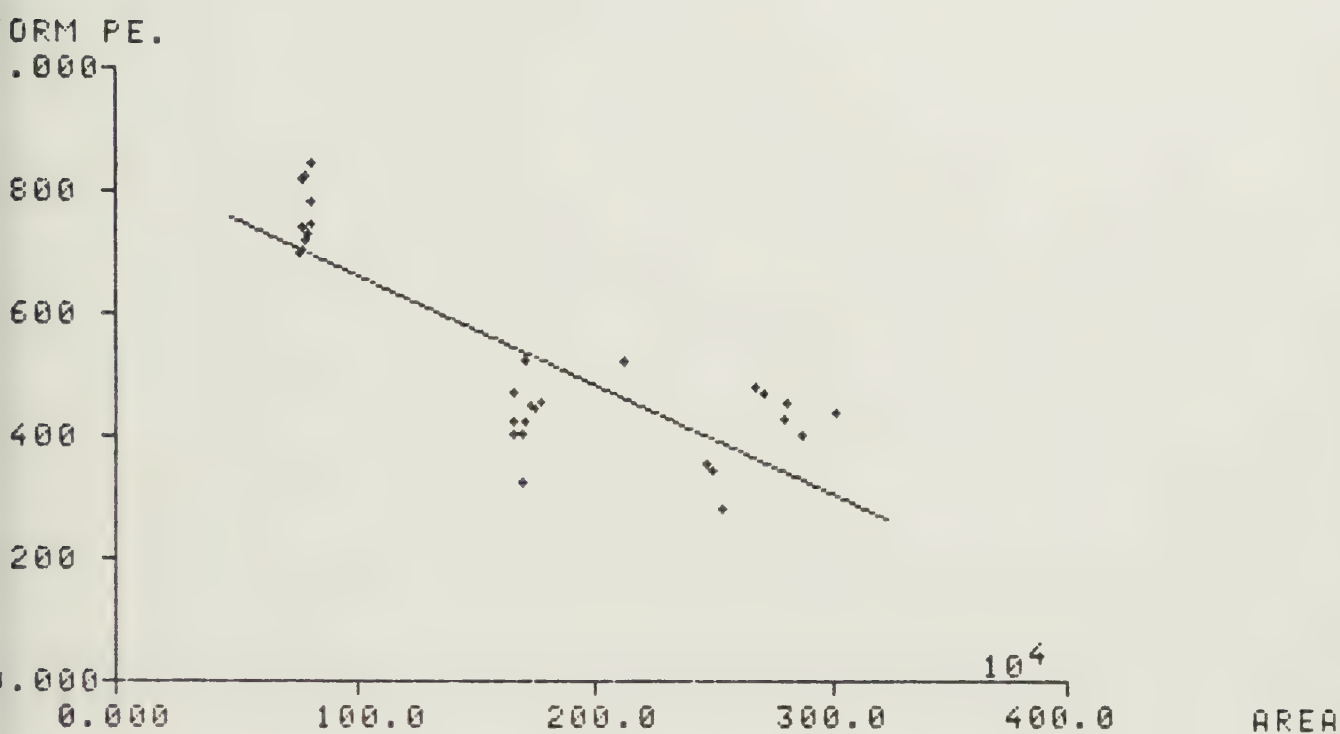
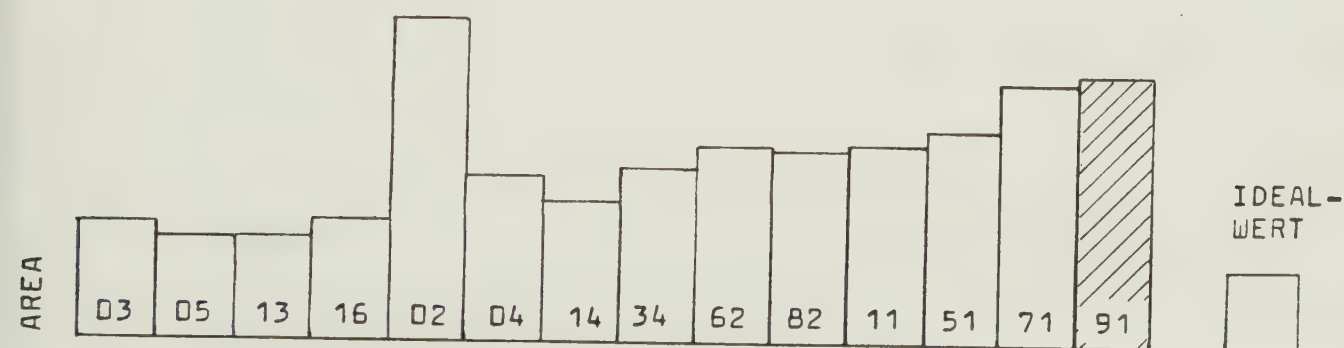
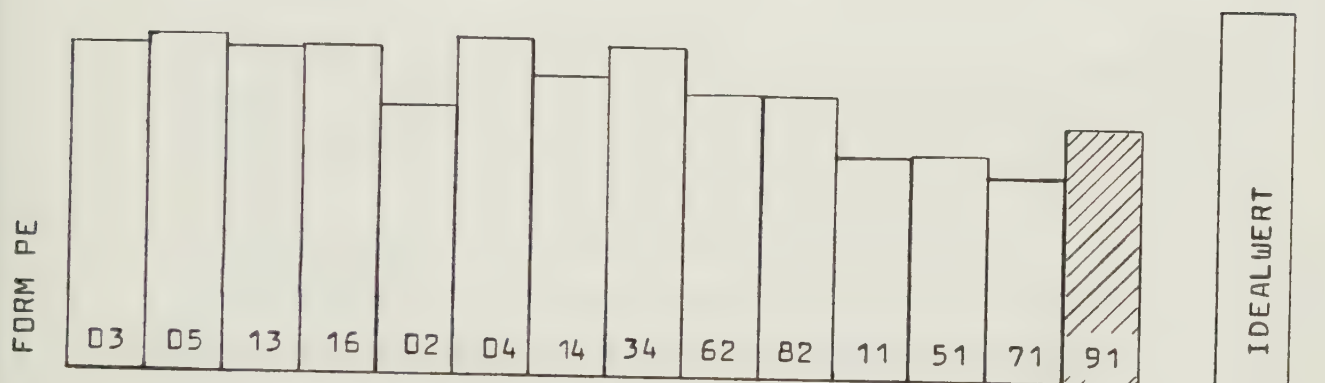
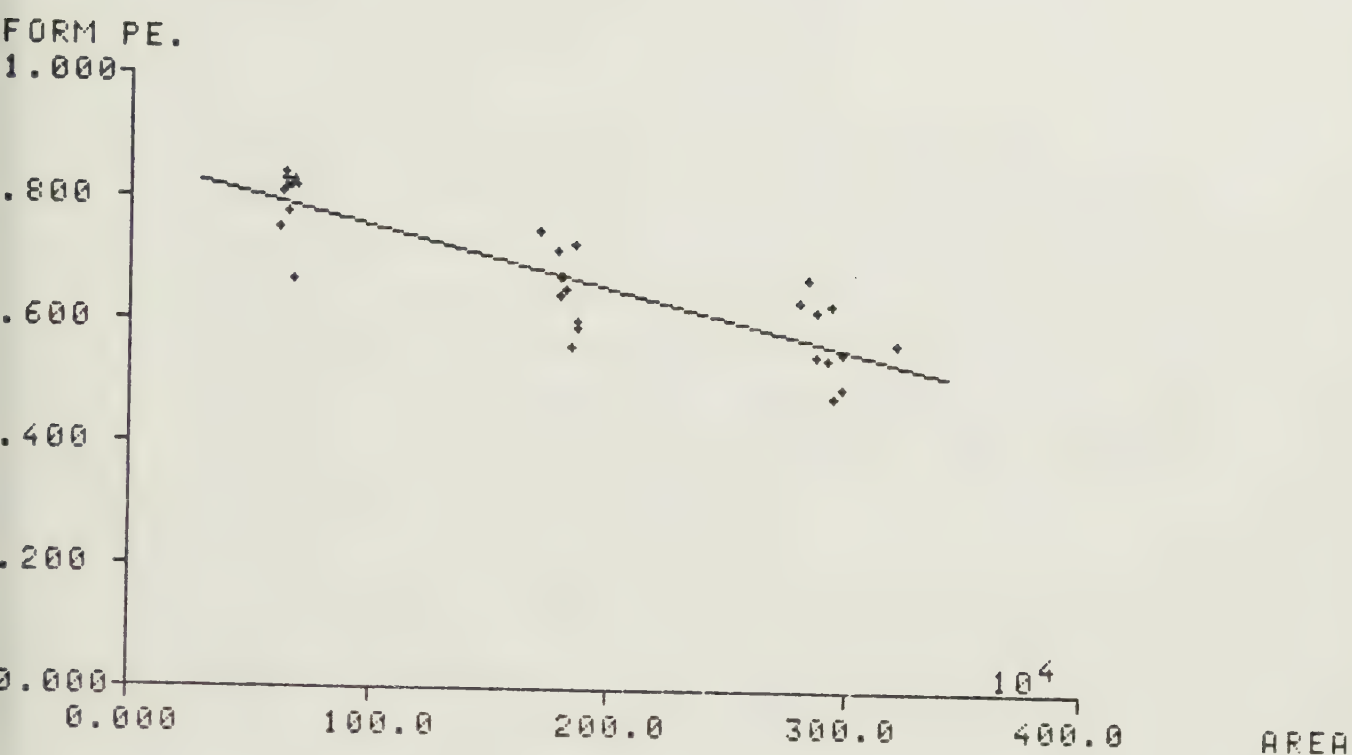


Abb. 31: Zeichnungsgenauigkeit der Seide 91



5.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Wenngleich man sich darüber im Klaren sein muß, daß es sich um eine Betrachtung in 65-facher Vergrößerung handelt, glaube ich dennoch ein Modell gefunden zu haben, Randzeichnungsungenauigkeiten von flächenbildenden Okklusionsmaterialien quantitativ zu beschreiben. Der Leser achte auch auf die Korrelation der Ergebnisse mit dem Bildmaterial vor allem im Kapitel 'Zeichungsverhalten auf planer Oberfläche bei konstantem Druck' und 'Zeichungsverhalten bei reduziertem Druck'.

Alle dicken Materialien (02, 62, 82, 11, 51, 71, 91) zeigen eindeutig schlechtere Ergebnisse vor allem bei großem Kugelradius. Dies ist zurückzuführen auf die starke Farbauspressung, die nicht nur sehr große Flächenwerte bewirkt, sondern natürlich auch hohe Ungenauigkeiten in der Randgestaltung verursacht.

Die Folien zeigen das überzeugendste Ergebnis. Dabei liegen alle Produkte etwa auf gleich hohem Niveau sowohl bezüglich der Flächengröße als auch der Randgenauigkeit.

Bei den Papieren sind die dünnen Materialien (04, 14, 34) den dicken überlegen. Dabei zeigt 14 zwar die kleinsten Flächen, dafür aber den ungenauesten Rand (im Vergleich zu 04 und 34).

Das Schlußlicht in beiden Disziplinen (Fläche und FORM PE) bilden die dicksten Materialien im Test, die Seiden sowie vor allem das Papier 02.

Kritisch für die dickeren Materialien, um es noch einmal zu wiederholen, sind vor allem flächige Kontakte (entsprechend der 16 mm Kugel), die zu einer überproportional großen und dabei unpräzisen Darstellung der Kontaktareale führen.

6. ZEICHNUNGSVERHALTEN AUF ZAHNOBERFLÄCHEN

6.1. Versuchsanordnung

Ausgehend von der Überlegung, daß es sich bei den okkludierenden Zahnreihen um zerklüftet ineinandergreifende Oberflächen handelt, soll in dieser Versuchsreihe das Zeichnungsverhalten bei Variation der Oberflächenmorphologie untersucht und beschrieben werden. Dabei galt es, eine Versuchsanordnung zu finden, die reproduzierbare und damit vergleichbare Ergebnisse liefert, gleichzeitig eine Oberflächenmorphologie aufweist, die ein differenziertes Verhalten der getesteten Produkte erwarten läßt. Die Testmaterialien sollen also bei Kontakt deformiert werden.

In den Vorversuchen wurden verschiedene Zahnmodelle im Artikulator¹⁾ getestet, u. a. ein Frasakomodell. Untersucht wurde in diesem Falle die Okklusion des OK 6. Da Frasakozähne aber nur punktförmige Okklusionskontakte und eine schwach ausgeprägte Höcherneigung aufweisen, genügte auch diese Versuchsanordnung nicht den oben gestellten Forderungen. Die Ergebnisse, die z. T. auch quantitativ analysiert wurden, entsprachen in ihrer Tendenz den Ergebnissen der quantitativen Okklusionsanalyse in der Arbeit von D. Leicher.

Erfolge wurden schließlich erzielt mit einer Keramikvollprothese im Artikulator. Das Artikulatoroberteil wurde aus konstanter Höhe (Öffnungswinkel $11,5^{\circ}$) auf das fixierte Unterteil fallengelassen. Dabei betrug das Gewicht des bewegten Oberteils 460 g.

1) Balance-Artikulator der Fa. Hager u. Werken

Die Kondylen waren fixiert. Somit fand eine reine Rotationsbewegung statt. Das Okklusionsmarkierungsmaterial befand sich zwischen 23 - 27 und 33 - 37. Zur Auswertung wurde die Okklusion von 24 und 25 herangezogen. Dazu wurde das Oberkiefermodell aus dem Artikulator herausgeschraubt und jeweils aus der gleichen Entfernung photographiert¹⁾. Für jedes getestete Material wurden 10 Versuche durchgeführt.

6.2. Darstellung der Ergebnisse

Um den Anschein des Subjektiven zu eliminieren, wurde versucht, die Größe der dargestellten Kontaktpunkte quantitativ zu erfassen. Dazu wurden die Umrisse der Kontakte vom projizierten Dia abgezeichnet und planimetrisch erfaßt. Dabei gibt es jedoch mehrere Probleme, die ein solches Vorgehen in Frage stellen:

Zum einen tritt ein Projektionsfehler auf: Flächengleiche Bereiche werden um so kleiner abgebildet, je steiler die Höckerneigung ist²⁾.

1) Verwendet wurde eine Minolta SRT 101 mit drei Distanzringen (insgesamt 68 mm), einen voll ausgezogenen Balken (15,6 cm), einem Macro-Objektiv 100 mm und einem Ringblitz. Die Kamera war mit einem individuell hergestellten Stativkomplex mit dem herausschraubbaren Artikulatoroberteil gekoppelt.

2) Es soll jedoch nicht verschwiegen werden, daß eine dreidimensionale Darstellung eines Okklusalliefs möglich ist. Entsprechende Angaben finden sich bei Ozaki u. Kanazawa (23).

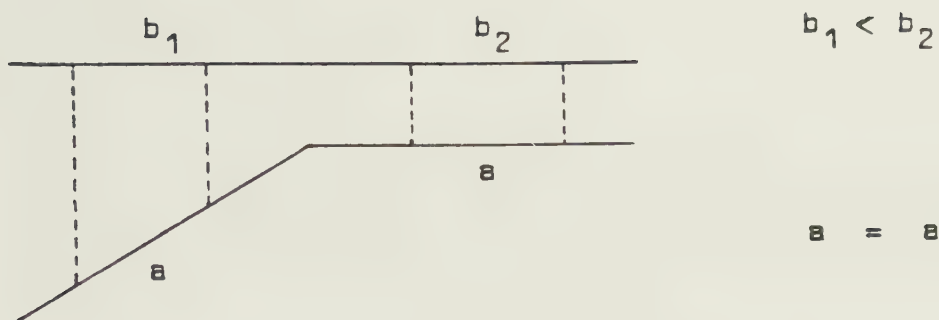


Abb. 32: Darstellung des möglichen Projektionsfehlers

Ein weiteres Problem ergab sich vor allem bei Verwendung von dicken Papieren. Es konnte, wie noch genau gezeigt wird, nicht mehr unterschieden werden zwischen Rand- bzw. Höckerleistenanfärbung und eigentlichem Kontaktpunkt. Diese zusätzlich angefärbten Bereiche (Rand- und Höckerleisten), bestehend aus vielen kleinen oft unzusammenhängenden Farbinseln, planimetrisch zu erfassen, ist sehr schwierig. Daneben verschmolzen gelegentlich bei Verwendung eines dickeren Papiers zwei Kontaktpunkte zu einem. Das graphisch dargestellte Ergebnis der Größenanalyse war zwar optisch ansprechend, aber verwirrend. Daher wurde auf die genaue quantitative Analyse verzichtet, deren Ergebnis im übrigen immer von der speziellen Verzahnung der betrachteten Zähne abhängt. Dieser Aspekt darf bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser Versuchsreihe nicht übersehen werden!

Aus den genannten Gründen wurde eine andere Darstellung gewählt:

Aus den 140 Bildern der Versuchsreihe (14 Materialien x 10 identische Versuche) wurde für jedes Material ein charakteristisches Bild herausgegriffen. Dieses auszuwählen war aufgrund der konstanten Ergebnisse kein besonderes Problem. Da, wo sich geringfügige Unterschiede innerhalb der 10 Versuche ergaben, sind diese in den folgenden Tabellen erwähnt. Abweichungen, die nur

ein- oder zweimal auftraten, wurden vernachlässigt. Die so gewonnenen 14 exemplarischen Ergebnisse lassen sich entsprechend der schon früher gewählten Einteilung in drei Gruppen darstellen:

- Folien
- Papiere
- Seiden

Die Beurteilung erfolgte nach folgenden Kriterien:

- "Parapunkte" und Rand- bzw. Höckerleistenanfärbung

Als "Parapunkte" sind angefärbte Bereiche definiert, die in Wahrheit keinen Kontakt haben mit ihrem Antagonisten. Dagegen werden als echte Kontakte die immer wieder auftretenden, klar abgegrenzten Punkte der dünnsten verwendeten Materialien angesehen. Von den Parapunkten lassen sich i. d. R. Rand- bzw. Höckerleistenanfärbungen differenzieren. Dies ist jedoch, wie bereits erwähnt, nicht in allen Fällen möglich.

- Farbintensität und Homogenität

Bei der Beurteilung der Farbintensität und Homogenität muß daran erinnert werden, daß es sich um Keramikzähne handelt. Das Ergebnis läßt sich daher nicht verallgemeinern. Über das Zeichnungsverhalten der verschiedenen Materialien gibt die Arbeit von D. Leicher (17) Aufschluß. Dennoch lassen sich okklusionsmarkierungsspezifische Eigenarten im Zeichnungsverhalten ablesen. Diese sollen dargestellt werden.

- Randgestaltung

Die Folien der folgenden Seiten zeigen die Übereinanderzeichnung der Okklusionspunkte des Zahnes 24. Wie bereits erwähnt, kam jeweils ein Ergebnis exemplarisch zur Darstellung. Wir sehen in durchgezogener Linie einen Kontaktpunkt von ca. 1 mm Durchmesser. Die gestrichelte Linie zeigt Punkte, die nicht immer auftraten (genauer s. Tabelle). Ob es sich dabei um reale Okklusionspunkte handelt, kann nicht mit Sicherheit beantwortet

werden. Zur Klärung wurden Quetschbisse mit Korrekturmaterialien angefertigt, die aber nicht weiterführten. Für das Zustandekommen dieser Punkte gibt es drei Erklärungsmöglichkeiten:

- "kein Kontakt"

Es besteht an dieser Stelle kein Kontakt. Der interokklusale Spalt ist aber an betreffender Stelle kleiner als die Dicke des zu testenden Materials. Dadurch ergibt sich in einigen Fällen eine Haftung von Farbe an dem entsprechenden Punkt.

- "Kontakt"

Es besteht an dieser Stelle immer ein Kontakt. Durch die Haftungsproblematik der Folienfarbe gelangt dieser aber nicht immer zur Darstellung

- "Nicht-immer-Kontakt"

Es besteht eine schwache Nonokklusion, also ein "Beinahe-Kontakt", der durch das Gelenkspiel des Artikulators (das durch entsprechende Einstellung minimiert wurde) in einem Teil der Fälle zum echten Kontaktpunkt wird und damit zur Darstellung gelangt.

Die letztgenannte Theorie ist die wahrscheinlichste. Dies würde natürlich für die Präzision der Folien sprechen. Die Tatsache, daß entsprechender Punkt durch alle anderen getesteten Materialien immer dargestellt wird, erklärt sich aus der Tatsache, daß diese Materialien, bedingt durch ihre Dicke, nicht differenzieren können zwischen leichter Nonokklusion und echtem Kontakt.

Um die Übersichtlichkeit zu erhalten, wurde in den folgenden Tabellen der entsprechende Punkt auch als Parapunkt bezeichnet.

Betrachten wir den Zahn 25, so findet sich auch hier ein Parapunkt, dessen wahrer Charakter durch Korrekturabformungen nicht eindeutig zu klären war. Allerdings zeigt sich bei den Folien in

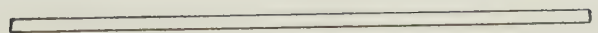
4 von 50 Fällen eine Zeichnung, bei den dickeren Materialien (Papiere und Seiden) dagegen in 85 von 100 Fällen eine Zeichnung. Hier dürfte es sich also um einen echten Parapunkt im Sinne der ursprünglichen Definition handeln.

- ▷ BAUSCH ARTIFOL BK 70/71/72
- ▷ BAUSCH ARTIFOL METALLIC BK 19
- ▷ HANEL GHM OKKLUSIONSPRÜFFOLIE
- ▷ HANEL GHM OKKLUSIONSPRÜFFOLIE DS



Abb. 33:

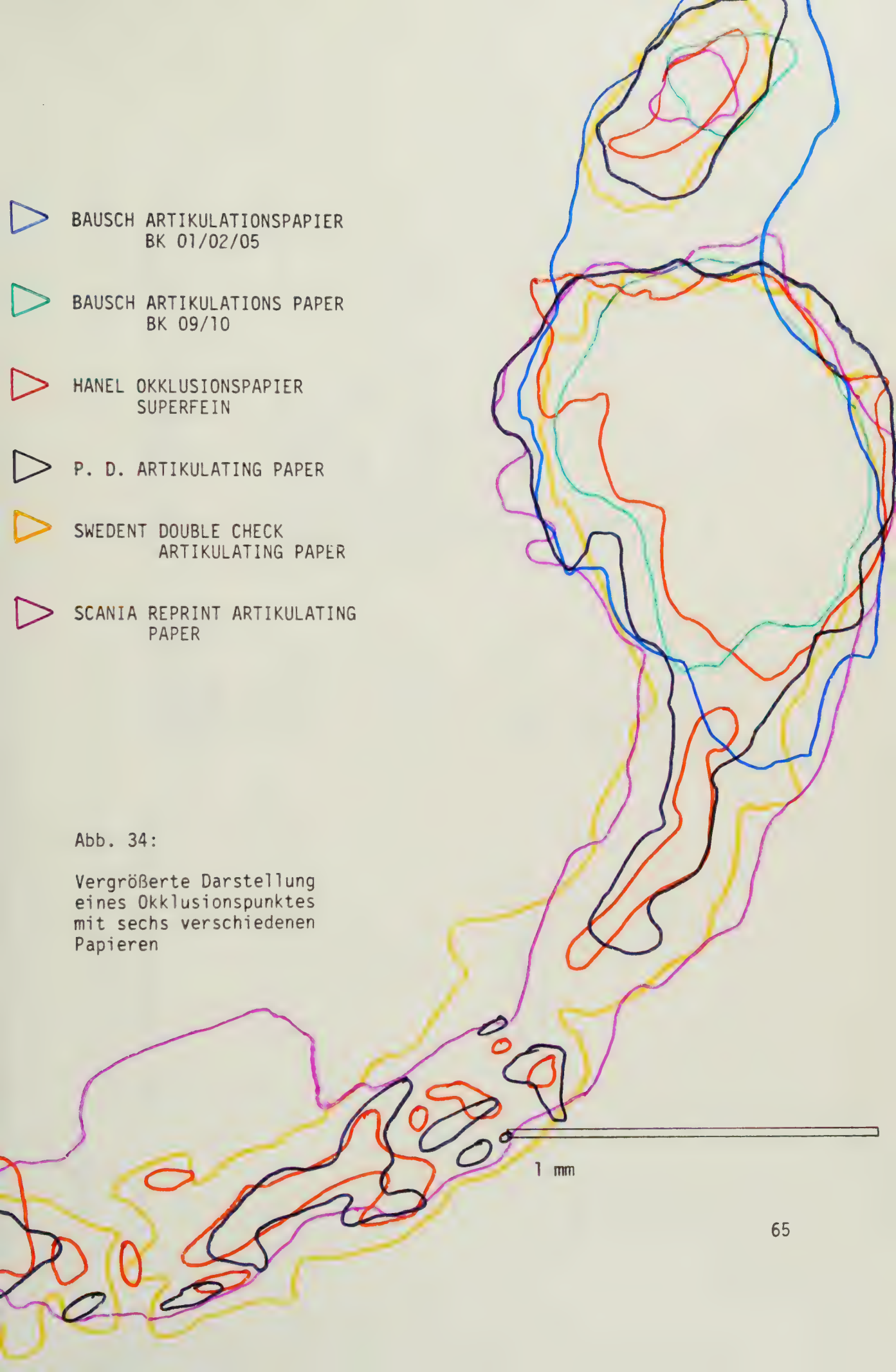
Vergrößerte Darstellung
eines Okklusionspunktes
mit vier verschiedenen
Folien



1 mm

IDENT. NR.	ABWEICHUNGEN BEI 10 VERSUCHEN	PARAPUNKTE (P) UND RAND- BZW. HÖCKERLEISTEN- ANFÄRBUNG (R)	FARBINTENSITÄT (F) UND HOMOGENITÄT (H)	RANDGESTALTUNG
03	kleiner Parapunkt (P) 5 mal in stark wechselnder Inten- sität aufgetreten		schwache F und H	
03'	kleiner P 2 mal in verschie- dener Intensität aufgetreten	in keinem Falle deutliche R; schwache R bei 16, aber als solche zu er- kennen und nicht mit einem Okklusionspunkt zu verwechseln	wechselnde F und H	relativ präzi- se Randgestal- tung, Ausdeh- nung des Ok- klusions- punktes immer zu erkennen, wenngleich durch fehlen- den Farbauf- trag der Rand- z. T. unter- brochen ist
05	kleiner P 5 mal in stark wechselnder Intensität auf- getreten			
13	kleiner P 5 mal in wechselln- der Intensität aufgetreten		die Ergebnisse sind denen von 03' ver- gleichbar	
16	kleiner P 4 mal in stark wechselnder Intensität auf- getreten			

ZUSAMMENFASSUNG: Für die Folien kennzeichnend ist die präzise Wiedergabe der Okklusionspunkte ohne größere Farbausprengungen oder Rand- bzw. Höckerleistenanfärbungen. Problematisch ist das Haftungsverhalten der Farbe, wie bereits in anderen Kapiteln verdeutlicht.



▷ BAUSCH ARTIKULATIONSPIAPIER
BK 01/02/05

▷ BAUSCH ARTIKULATIONS PAPER
BK 09/10

▷ HANEL OKKLUSIONSPIAPIER
SUPERFEIN

▷ P. D. ARTIKULATING PAPER

▷ SWEDENT DOUBLE CHECK
ARTIKULATING PAPER

▷ SCANIA REPRINT ARTIKULATING
PAPER

Abb. 34:

Vergrößerte Darstellung
eines Okklusionspunktes
mit sechs verschiedenen
Papieren

1 mm

6.2.2. Papiere

Tab. 9

IDENT. NR.	ABWEICHUNGEN BEI 10 VERSUCHEN	PARAPUNKTE (P) UND RAND- BZW. HÖCKERLEISTEN- ANFÄRBUNG (R)	FARBINTENSITÄT (F) UND HOMOGENITÄT (H)	RANDGESTALTUNG
02		schwache R deutliche P	kein druckabhängi- ges Zeichnen; P, R, und Okklu- sionspunkt zeigen identische H und F	unscharf
04		schwache R kleiner P	druckabhängiges (!) Zeichnen (Zentrum intensiver ange- färbt); hohe H	deutlich
14	kleiner Parapunkt 5 mal aufgetreten	deutliche R und P	hohe F und H	diffus
34		deutliche R und P	hohe F; inhomogen	Farbaus- sprengungen
62		starke R und P	hohe F und H	deutlich
82		sehr starke R deutliche P	hohe F und H	unscharf

ZUSAMMENFASSUNG:

Die Ergebnisse der Papiere zeigen im Vergleich zu den Folien ein sehr uneinheitliches Bild.

An den Folien gemessen ist nur das Produkt 04 konkurrenzfähig, das zwar eine sehr schwache Randleistenanfärbung zeigt, dafür den Vorteil eines, wenn auch schwach ausgeprägten, so doch vorhandenen druckabhängigen Zeichnens bietet, gekennzeichnet durch ein intensiver angefärbtes Zentrum.

Interessant ist nun, ein Werbeprospekt der Fa. Bausch zur Hand zu nehmen, Hersteller der Produkte 02 und 04. Danach soll das Papier 02 ein druckabhängiges Zeichnen ermöglichen, wohingegen bei 04 nichts davon zu lesen ist. Dr. Bausch sieht die Indikation dicker Papiere in der Möglichkeit druckabhängigen Zeichnens, wie ich selbst aus einem Gespräch mit ihm erfahren konnte. In der Praxis zeigt das Papier 02 allerdings ein vom Druck unabhängiges Farbverhalten, was auch die anderen Versuche dieser Arbeit bestätigen. Sogar Non-Kontakte wurden mit gleicher Intensität dargestellt wie die eigentlichen Kontakte. Am Zahn 25 trat ein isolierter großer Parapunkt auf, der in dieser Deutlichkeit von keinem anderen getesteten Material dargestellt wurde. Daneben flossen die beiden Kontaktpunkte am Zahn 24 zu einem großen zusammen. Zur Erinnerung: Das Papier 02 ist mit $183\text{ }\mu\text{m}$ das dickste im Vergleich.

Das absolut schlechteste Ergebnis neben 02 erzielten 62 und 82, bei denen nicht mehr zwischen eigentlichem Okklusionspunkt und Rand- bzw. Höckerleistenanfärbung unterschieden werden konnten.

Das Produkt 34 fiel durch einen zwar intensiven, aber inhomogenen Farbauftrag auf. Weiterhin traten Farbaussprengungen auf.

Nach 04 erzielte das Papier 14 in dieser Versuchsreihe das zweitbeste Ergebnis.

-  HANEL GHM ARTIKULATIONSSEIDE
TYP BUTTERFLY
-  ECR DENTAL TAPE SILK
-  CANDULOR ARTIKULATIONSBAND
-  DAREX DENTAL TAPE
GREEN SILK

Abb. 35:
Vergrößerte Darstellung
eines Okklusionspunktes
mit vier verschiedenen
Seiden



IDENT. NR.	ABWEICHUNGEN BEI 10 VERSUCHEN	PARAPUNKTE (P) UND RAND- BZW. HÖCKERLEISTEN- ANFÄRBUNG (R)	FARBINTENSITÄT (F) UND HOMOGENITÄT (H)	RANDGESTALTUNG
11		erkennbare P vernachlässig- bare R	homogenes Seiden- muster mit farb- intensivem Rand	deutlich
51		deutliche P vernachlässig- bare R	homogene Seiden- struktur mit farb- intensivem Rand	deutlich
71		intensive P schwache R	homogene Seiden- struktur	deutlich
91		intensive P deutliche R	sehr farbinten- siver Rand mit zentraler Aufhel- lung und kaum er- kennbarer Seiden- struktur	deutlich

ZUSAMMENFASSUNG:

Auffallend ist das relativ gute Abschneiden der Seiden, vor allem in Relation zu ihrer Dicke. Die Seide 71 ist immerhin 112,6 µm dick. Die Ergebnisse von 11, 51 und 71 liegen dicht beisammen, wobei 11 am meisten überzeugt. Wir sehen in allen Fällen Parapunkte, jedoch mit Ausnahme von 91 eine vernachlässigbare Randleistenanfärbung. Erfreulich sind auch die deutliche Randgestaltung sowie die homogene Kontaktfärbung, von 91 einmal abgesehen. Die Schwächen von 91 erklären sich aus der Tatsache, daß sie zu viel sehr flüssige Farbe enthält.

- ▷ BAUSCH ARTIFOL BK 70/71/72
- ▷ BAUSCH ARTIKULATING PAPER
BK 09/10
- ▷ HANEL GHM ARTIKULATIONSSEIDE
TYP BUTTERFLY



Abb. 36:

Vergleichende Darstellung
des jeweils besten Ergebnisses
aus Abb. 33, 34 und 35



1 mm



Abb. 37:

Überblick über das
Spektrum der Ergeb-
nisse bei den Zahn-
versuchen.

Darstellung der
Zähne 24 und 25.

Folie	13	(oben)
Papier	62	(Mitte)
Seide	11	(unten)



6.3. Ergebnisinterpretation

Die Ergebnisse lassen vor allem zwei Dinge erkennen:

a) Die dünnsten Materialien zeigen die besten Ergebnisse.

b) Das Trägermaterial spielt eine entscheidende Rolle.
Wir haben der Frage nachzugehen, warum die Seiden trotz ihrer Dicke so relativ gute Ergebnisse erzielen.

ad a) Warum sollen Okklusionsmarkierungsmaterialien möglichst dünn sein?

- Sie sollen beim Zubeißen den Patienten nicht irritieren und somit den Unterkiefer in eine falsche Position lenken. Die Dicke der Markierungsmaterialien sollte unterhalb der geringsten Tastdicke liegen. Diese liegt nach Halperin et al. (8) zwischen 12,5 und 100 μm .
- Ein Okklusionsmarkierungsmaterial wird einen Nicht-Kontakt, also einen interokklusalen Abstand, markieren, sofern dieser kleiner ist als die Dicke des entsprechenden Materials (optimale Farbabgabe vorausgesetzt). Die entstehenden Punkte, die also in Wahrheit gar keine Kontakte darstellen, sind die gefundenen Parapunkte.
- Aus der Arbeit von D. Leicher (17) geht hervor, daß dicke Markierungsmaterialien aufgrund ihrer Farbfülle vor allem bei höherem Druck Bereiche über den eigentlichen Kontaktpunkt hinaus anfärben.

ad b) Wie muß das Trägermaterial beschaffen sein?

Natürlich muß die Kombination Trägermaterial/Farbe gesehen werden. Allerdings müssen die Eigenschaften des Trägermaterials als Basis angesehen werden, die durch entsprechenden Farbauftrag nur modifiziert werden kann.

Folgende Abbildung dient zur Veranschaulichung der Problematik:

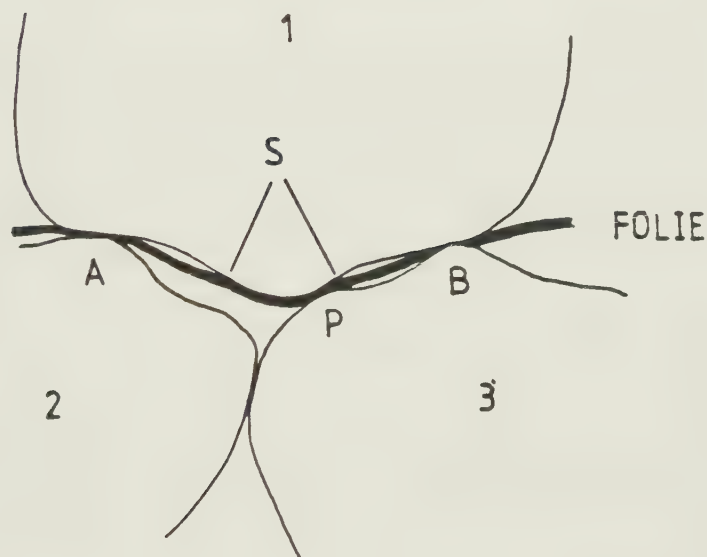


Abb. 38: Okkludierende Zähne mit Darstellung von Höckerleisten-
anfärbung (S) und einem Parapunkt (P)

A und B sind wahre Okklusionspunkte. P ist ein Parapunkt und wird angezeichnet, da der Abstand zwischen den Zähnen hier geringer ist als die Dicke des Markierungsmaterials. Auf der

Strecke S finden wir bei einem unflexiblen Papier eine Höckerleistenanfärbung, bei einer flexiblen Seide oder Folie dagegen kaum dieses Phänomen. Die dennoch vorhandene aber schwache Höcker- bzw. Randleistenanfärbung bei den Seiden kann erklärt werden durch ihre hohe Farbintensität und ihre Fähigkeit, die Farbe leicht abzugeben.

Stellen wir uns nun vor, Zahn 1 tritt mit den Zähnen 2 und 3 in Okklusion, wobei das Okklusionsmarkierungsmaterial auf den Zähnen 2 und 3 liegt.

- Verhalten des flexiblen Materials:

Im Bereich von S tritt der erste Kontakt mit dem Testmaterial auf. Dabei sind A und B jedoch noch nicht in Kontakt! Daher wird auf S nahezu kein Druck ausgeübt und das Markierungsmaterial fließt von den Seiten nach, bis A und B in Kontakt treten.

- Verhalten des unflexiblen Materials (dickes Papier):

Das Material fließt nicht von den Seiten nach, sondern wird im Bereich von S ausgebeult und die Höckerleiste von 1 angefärbt.

6.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ein ideales flächenbildendes Okklusionsmarkierungsmaterial sollte sehr dünn und flexibel sein und dabei eine hohe Farbintensität aufweisen.

Diese Forderungen werden natürlich von produktionstechnischen Faktoren begrenzt.

Keines der getesteten Produkte erfüllt alle gestellten Forderungen.

Mögliche Lösungen wären:

1. eine einseitig beschichtete 16
2. ein 20 μm dickes 04
3. eine dünnere Seide

Die Forderung von Halperin et al. (8) nach einer hohen plastischen Deformierbarkeit scheint nach dem Gezeigten nicht treffend genug. Wichtig ist Flexibilität, d. h. Elastizität vor Kontakt. Beweise für die Richtigkeit der Forderung sind die Ergebnisse der Seiden, einem wenig dehnbaren, aber fließfähigen Material.

Folgender Vergleich dient der Veranschaulichung:

Der Leser stelle sich eine Wolldecke (entspricht der Seide) vor, die er über einen Sessel legt und sich draufsetzt. Nun stelle er sich bitte im Vergleich einen dicken Pappkarton (entspricht dem dicken Papier) vor, den er auf einen Sessel legt und sich draufsetzt.

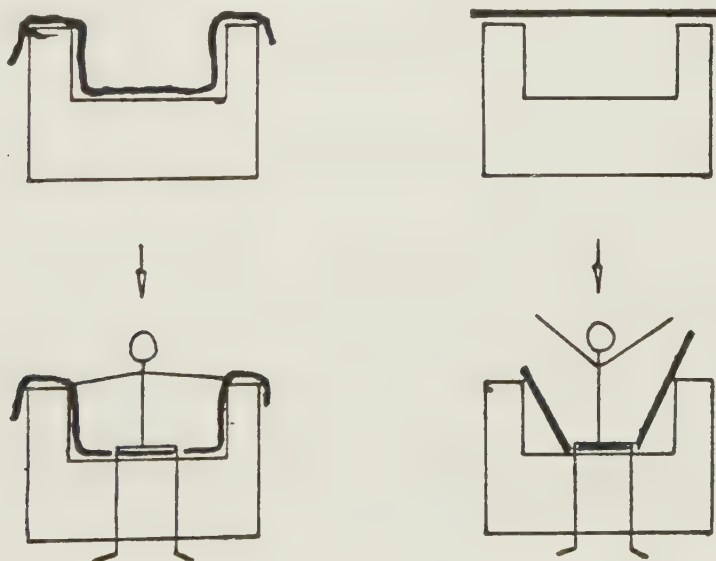


Abb. 39: Verhalten vom flexiblen im Vergleich zu unflexiblem Markierungsmaterial

7. ZEICHNUNGSVERHALTEN BEI REDUZIERTEM DRUCK

7.1. Versuchsanordnung

Bereits in Kapitel 4 "Mechanismus der Farbabgabe" wurde das Verhalten bei reduziertem Druck untersucht. Dort wurde allerdings der Druck im Belastungsversuch durch Reduktion des aufliegenden Gewichtes reduziert. Hier soll dagegen der Druck durch Reduktion der Geschwindigkeitskomponente des Impulses reduziert werden.

In Kapitel 4 wurde der Grenzbereich der Farbabgabe im Belastungsversuch dargestellt. Die Reduktion der Fallhöhe im Impulsversuch ergab jedoch, daß selbst kleinste Impulse ausreichen, um eine Farbabgabe zu bewirken. Wir haben festgestellt, daß klinisch der begrenzende Faktor der Farbabgabe hauptsächlich im Fehlen eines Impulses zu suchen ist, was im wesentlichen durch drei Dinge passieren kann (vgl. S. 21):

- Willkürliches Pressen statt Hacken, d. h. falsches Kommando des Zahnarztes
- Nichtausschalten der reflektorischen Hemmung der Zubeißbewegung
- Abfangen des Impulses durch vorzeitig auftretende Kontakte

Punkt 1 und 2 sind leicht zu umgehen. Das Abfangen des Impulses durch vorzeitige Kontakte stellt jedoch ein besonderes Problem dar. In diesem Zusammenhang ist der Begriff "Frühkontakt" nicht ausreichend, denn problematisch sind alle Kontakte, die den Impuls primär abfangen, also auch solche, die durch eine falsche

"Einflugschneise" bei der Zubeißbewegung oder verkrampftes Zubeißen unter willkürlich verstärkter Ausnutzung der Gelenkresilienz der einen Seite zustandekommen.

Aus dem Gesagten ergibt sich die Notwendigkeit, das Färbeverhalten im Grenzbereich kleiner Impulse zu untersuchen. Dazu verwenden wir, wie schon in Kapitel 2, eine elektrische Schreibmaschine ¹⁾. Folgende Schemazeichnung dient zur Veranschaulichung des Versuchsaufbaues (Abb. 40):

¹⁾ Triumph electric 131 f

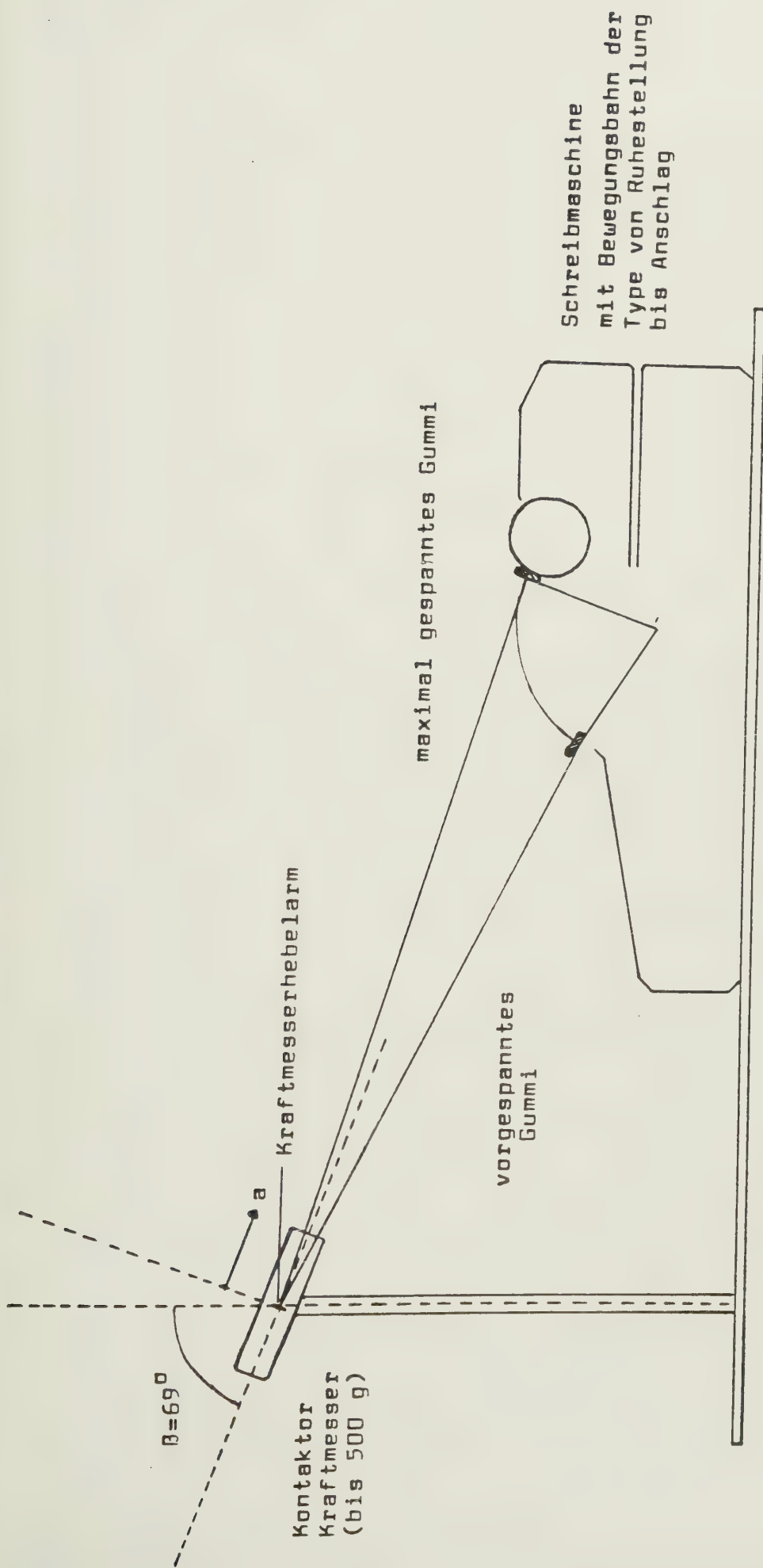


Abb. 40: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zum Zeichnungsverhalten bei reduziertem Druck

Die verwendete Schreibmaschine hat eine Anschlagskraftverstellmöglichkeit in vier Stufen. Diese Bandbreite ist jedoch nicht ausreichend, um in den Haftungsgrenzbereich vorzudringen. Daher wurde die Anschlagskraft durch ein Gummi¹⁾, das sich durch die Bewegung der Type anspannt, reduziert.

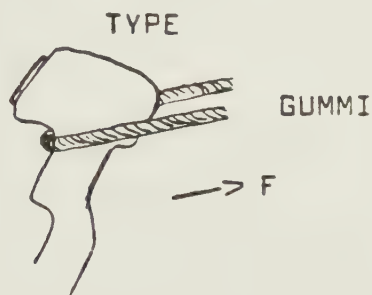


Abb. 41:

Darstellung der Schreibmaschinetype. (F ist die 'Hemmkraft'.)

Dabei war das Gummi zwischen Type und Hebelarm des Kraftmessers gespannt. Diese Vorspannung sowie die Maximalkraft beim Anschlag, beide ablesbar am Kraftmesser, dienen als Kontrollgrößen. Sie stellen Gegenkräfte dar. Über den Betrag der Anschlagskraft selbst wird keine Aussage gemacht.

Gearbeitet wurde mit zwei verschiedenen Druckreduktionsstufen (V 1 und V 2), die folgendermaßen definiert waren:

V 1:	Schreibmaschinenanschlagskraftstellung	"2"
	Vorspannung des Gummis	60 g
	Maximalkraft beim Anschlagen	121 g
V 2:	Schreibmaschinenanschlagskraftstellung	"4"
	Vorspannung des Gummis	76 g
	Maximalkraft beim Anschlagen	190 g

Die Gesamtanschlagskraft war bei V 2 deutlich geringer als bei V 1.

¹⁾ Gummifaden Bellys (rot), doppelt, 20,4 cm lang

Wie in Kapitel 3 wurde wieder eine Folie¹⁾ zur Darstellung der Ergebnisse verwendet. Von den jeweils 10 identischen Ergebnissen wurde eines exemplarisch photographiert²⁾. Anders als in Kapitel 3 wurde hier der Buchstabe "n" zur Darstellung gebracht. Dieser wurde aus mechanischen Gründen ausgewählt, denn hier bilden Type und Typenarm keinen Winkel zueinander, und damit liegt die Bewegungsbahn der Type und die Auslenkung des Kraftmesserhebelarmes in einer Ebene.

Zur Bestimmung des Anschlagdruckes kämen verschiedene Möglichkeiten in Frage, insbesondere die Ansätze einer quantitativen Okklusionsanalyse, die an dieser Stelle kurz dargestellt werden soll. Diese lassen sich nach ihrem Grundprinzip in zwei Gruppen einteilen:

1. Dawson und Arcan (3), (1) nutzen die Fähigkeit einiger Polymere aus, welche Beugungsmuster speichern, die durch eine mechanische Einwirkung verursacht wurden. Dawson benutzt Folien mit einer Dicke von 25 - 100 μm . Unter polarisiertem Licht betrachtet lassen sich jedem Beugungswert (entsprechende Farbe) eine Druckintensität zuordnen.

Fitzig, Serfaty und Gazit (5) haben die Methode weiterentwickelt, um den Nachteil des Nichtanzeichnens der Kontakte im Mund auszuschalten. Die Methode besteht in einer Kombination der Polymerfolie mit einem aufgetragenen Polysiloxan, das die Zahnoberfläche abformt und damit ein leichtes Finden der Kontakte ermöglicht.

1) Vangophan-Folie für Overhead Projektoren Nr. 17019, 0,1 mm

2) Leitz Orthoplan: Blau- und Graufilter; Vergrößerung = 2,5 x bzw. 4 x (jeweils angegeben)

Lieberman, Eli, Judes und Ben-Amar (18) sind einen anderen Weg gegangen, indem sie die Polymerfolie beidseitig mit einem Farbauftrag versehen haben und so eine direkte Kontaktanfärbung im Mund erhalten.

2. "Prescale" ist der Name einer japanischen Folie, die zwischen ihren beiden Folienschichten Mikrofarbkapseln trägt, die bei Druckeinwirkung platzen und die Folien proportional dem Druck anfärben. Es folgt eine computerunterstützte Auswertung, die das Ergebnis in 8 Druckzonen unterteilt darstellt. Angaben dazu finden sich bei Fukuda et al. (6), (7) und Noguchi et al. (21), (22). Nach Fukuda ist 'Prescale' in zwei Dicken erhältlich (200 μm und eine verbesserte Version mit 95 μm).

7.2. Darstellung der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen kein eindeutig materialspezifisches Verhalten, von der Tatsache einmal abgesehen, daß die Folien die bereits bekannte Haftungsproblematik zeigen und die Seiden auch bei stark reduzierter Geschwindigkeitskomponente des Impulses (V_2) sich keinen Ausreißer leisten, d. h. alle getesteten Produkte ein, wenn auch abgeschwächtes, Färbeverhalten zeigen.

Im Färbeverhalten überragend sind die Produkte 34 und 91. Diese Farbstärke wird allerdings durch ein unpräzises Zeichnungsverhalten erkauft, was vor allem bei 91 deutlich wird.

Das Papier 04 zeigt als einziges Produkt der Versuchsreihe eine erkennbare graduierte Druckabhängigkeit bei gleichbleibender Homogenität. Dagegen zeigen die Folien einen sehr engen Grenzbereich im Zeichnungsverhalten, d. h. sie zeigen entweder Haftung oder sie versagen. Wie bereits im Kapitel "Mechanismus der Farbabgabe" gezeigt, sieht man auch hier, daß bei im Vergleich zwar präziser Zeichnung dennoch große Areale keine Farbe zeigen, d. h. die Farbe sich nicht für das Objekt entschied, sondern den angestammten Platz auf der Folie innehielt. Dennoch ist vor allem das Verhalten von 03 im Vergleich durchaus positiv. Dagegen zeigen 05, 13, 02 und 14 überhaupt keine Zeichnung bei V 2, wobei 02 auch bei V 1 kaum zeichnet.

7.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Farbverhalten sind die Produkte 34, 91 und mit Einschränkung 04 überragend, wobei 04 mit einem graduierten Druckzeichnungsverhalten positiv überrascht.

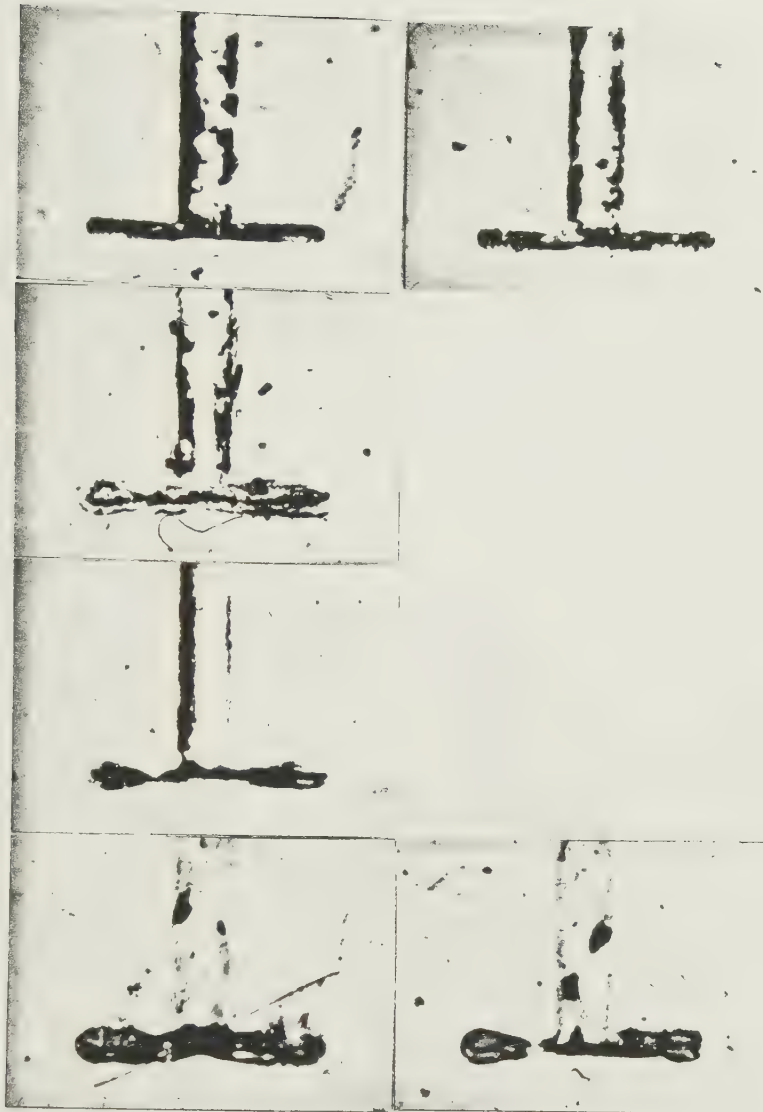


Abb. 42: Darstellung der Ergebnisse der Folien. Zur Darstellung gelangte jeweils der untere rechte Teil des Buchstaben "n".

03 V 1	03 V 2
05 V 1	
13 V 1	
16 V 1	16 V 2

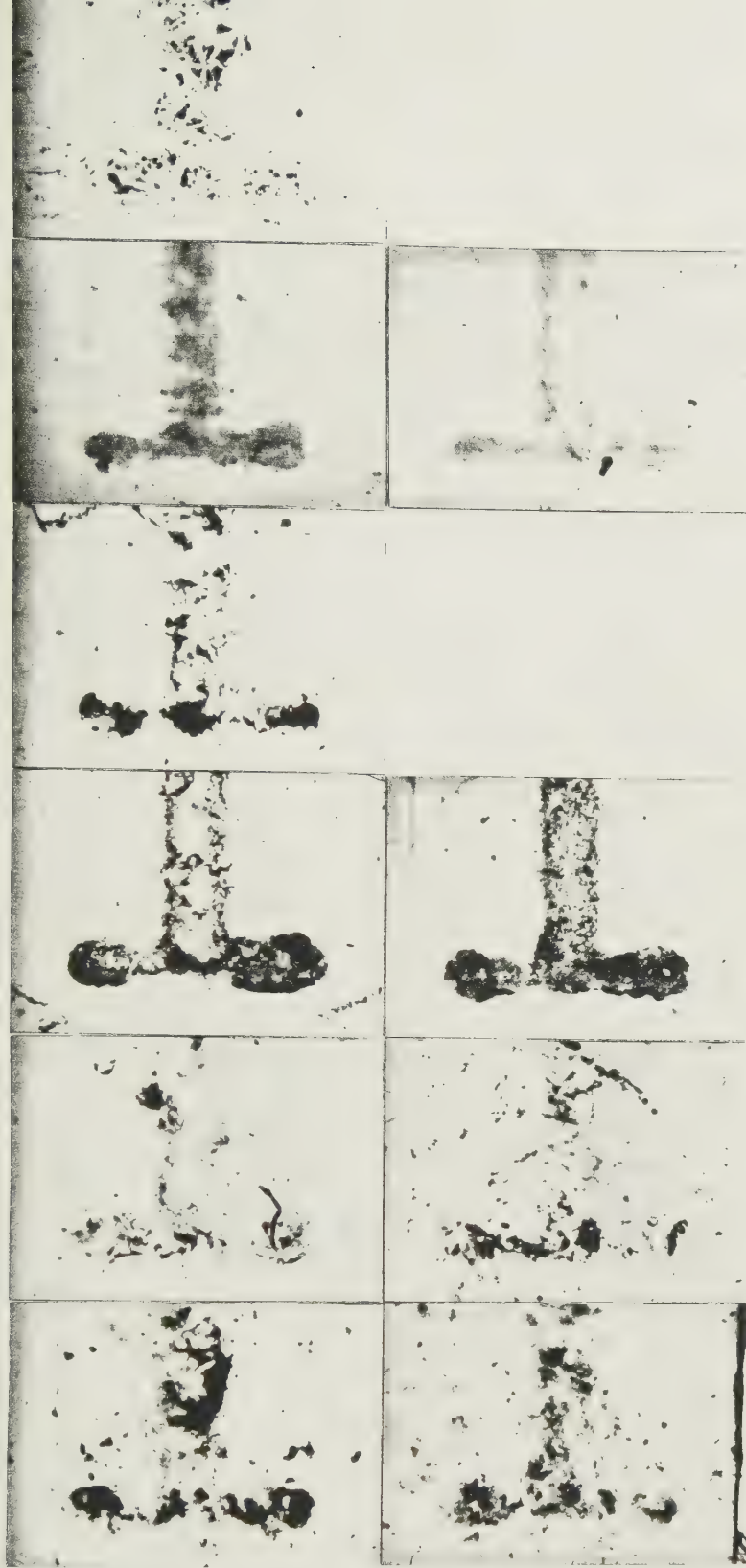


Abb. 43: Darstellung der Ergebnisse der Papiere. Zur Darstellung gelangte jeweils der untere rechte Teil des Buchstabens "n".

02 V 1	
04 V 1	04 V 2
14 V 1	
34 V 1	34 V 2
62 V 1	62 V 2
82 V 1	82 V 2

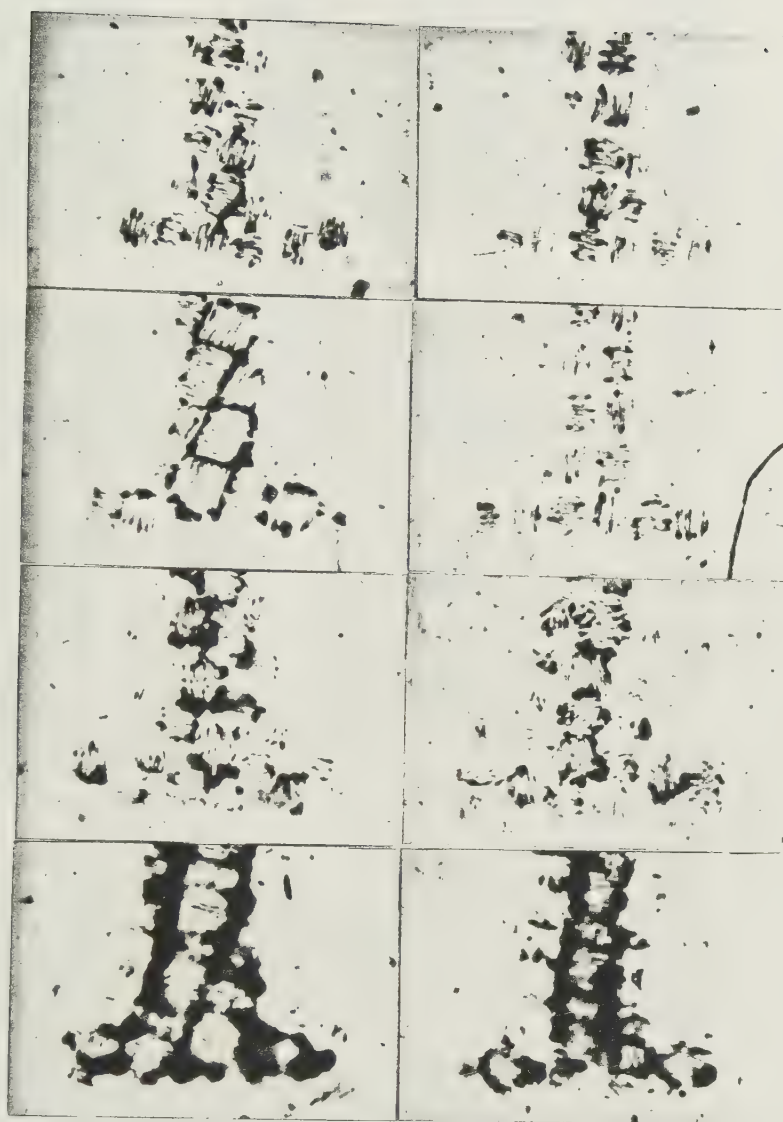


Abb. 44: Darstellung der Ergebnisse der Seiden. Zur Darstellung gelangte jeweils der untere rechte Teil des Buchstaben "n".

11 V 1	11 V 2
51 V 1	51 V 2
71 V 1	71 V 2
91 V 1	91 V 2

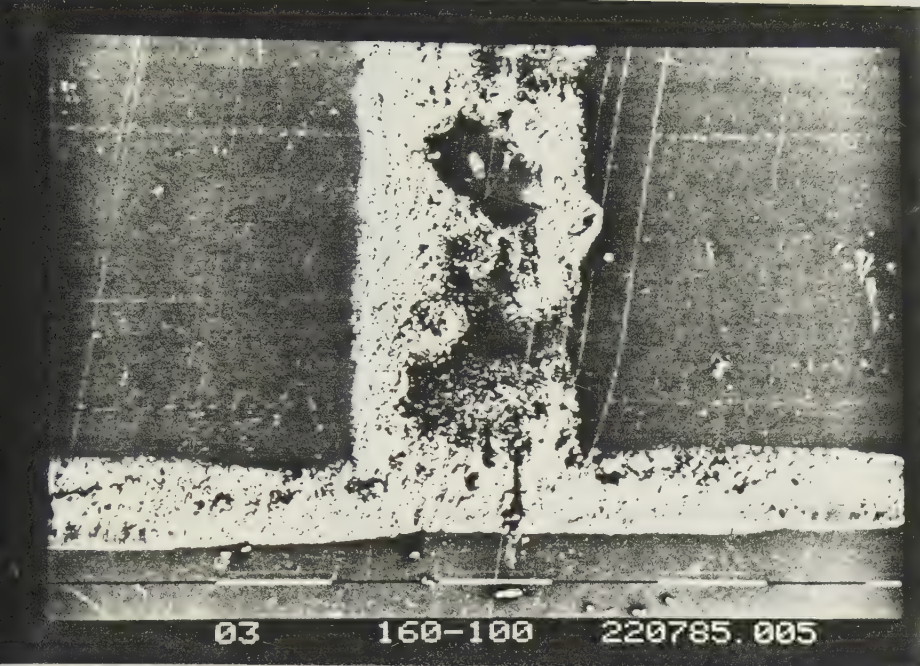


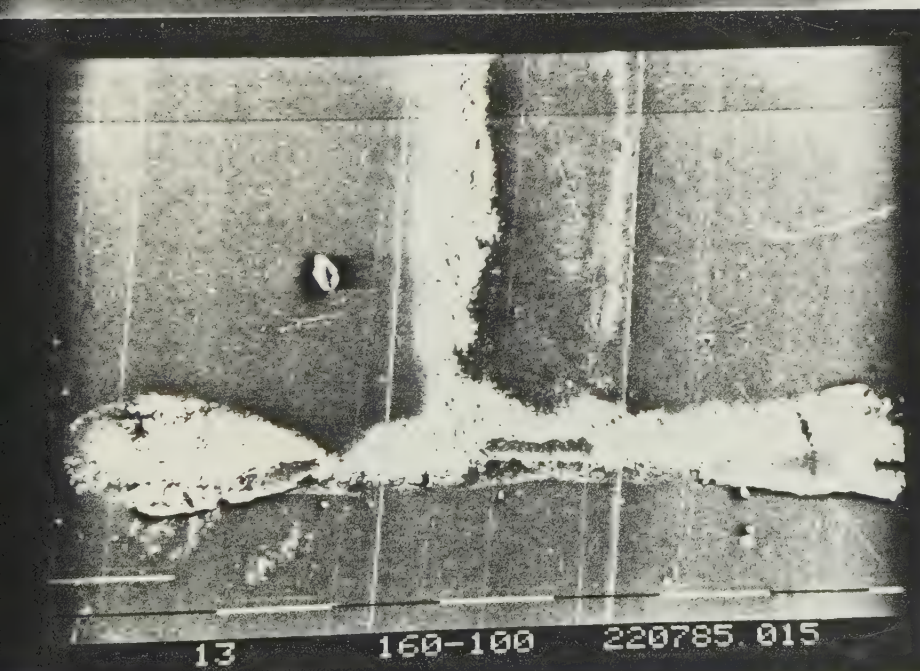
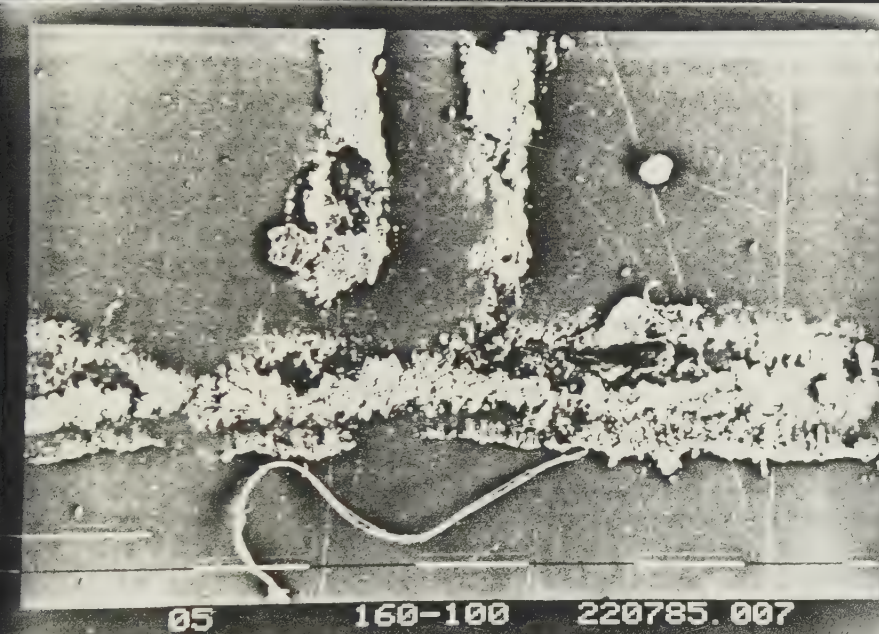
Abb. 45 - 58:

Rasterelektronen-
mikroskopische Dar-
stellung der Ein-
zelergebnisse von
V 1.

Zur Darstellung ge-
langte jeweils der
untere rechte Teil
des Buchstabens
"n".

Die entsprechende
photographische
Darstellung findet
sich in Abb. 42 -
44 auf der linken
Seite.

Die Angabe des
Materials (Ident.-
Nr.) findet sich
jeweils im unteren
linken Bildrand.

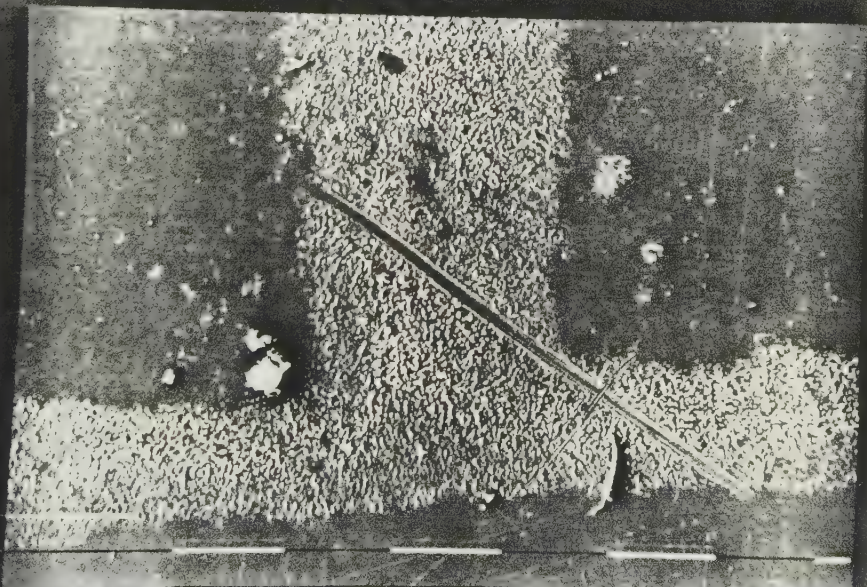




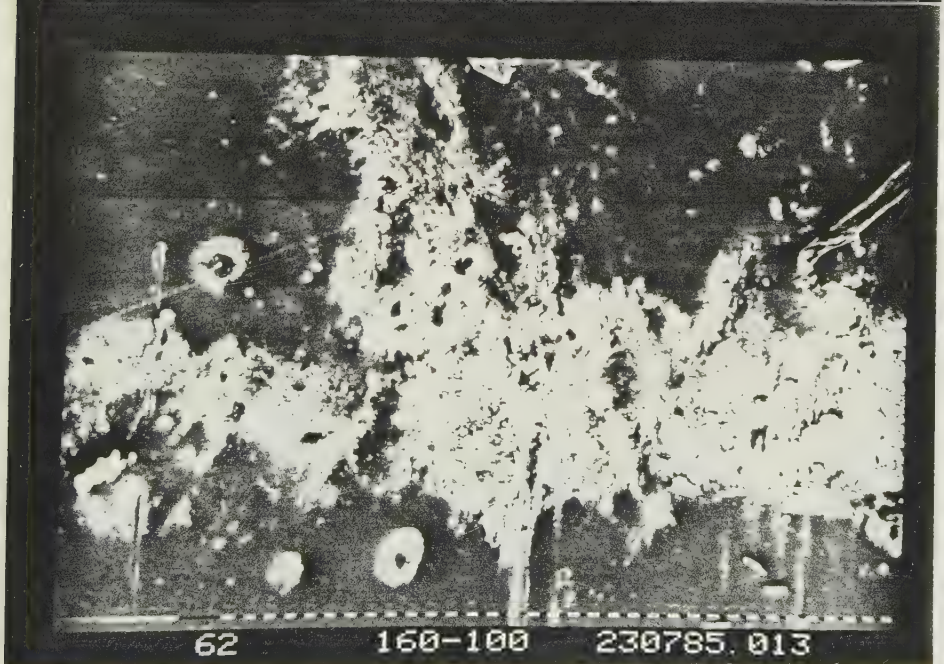
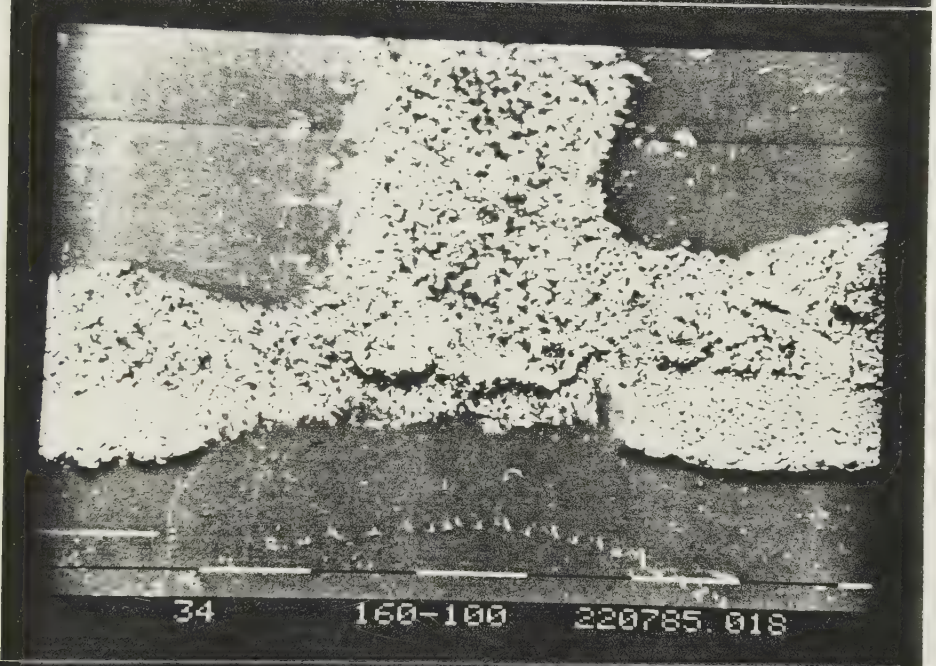
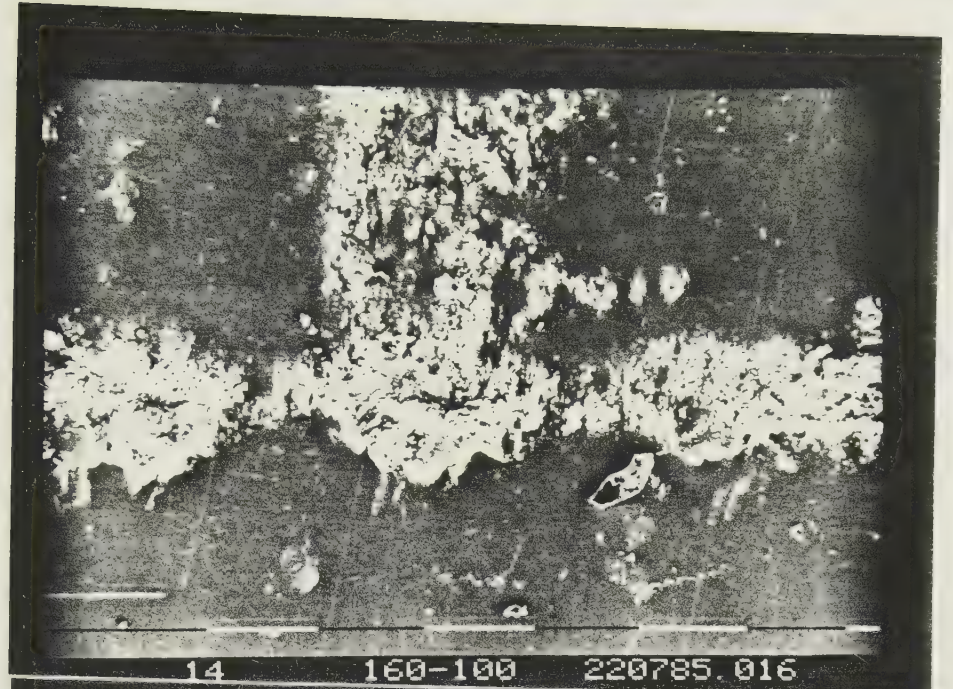
16 160-100 220785.017

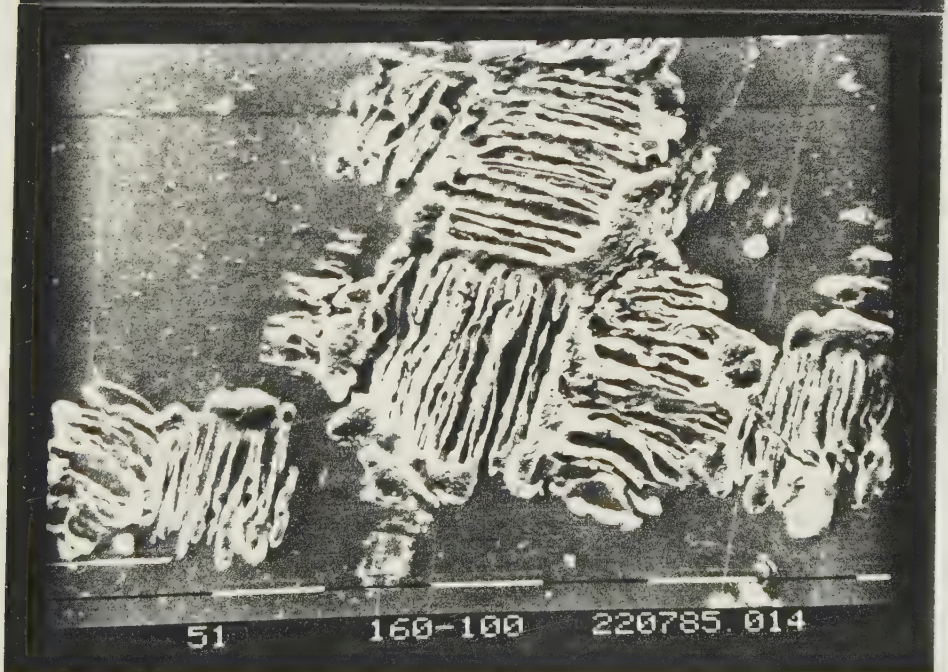
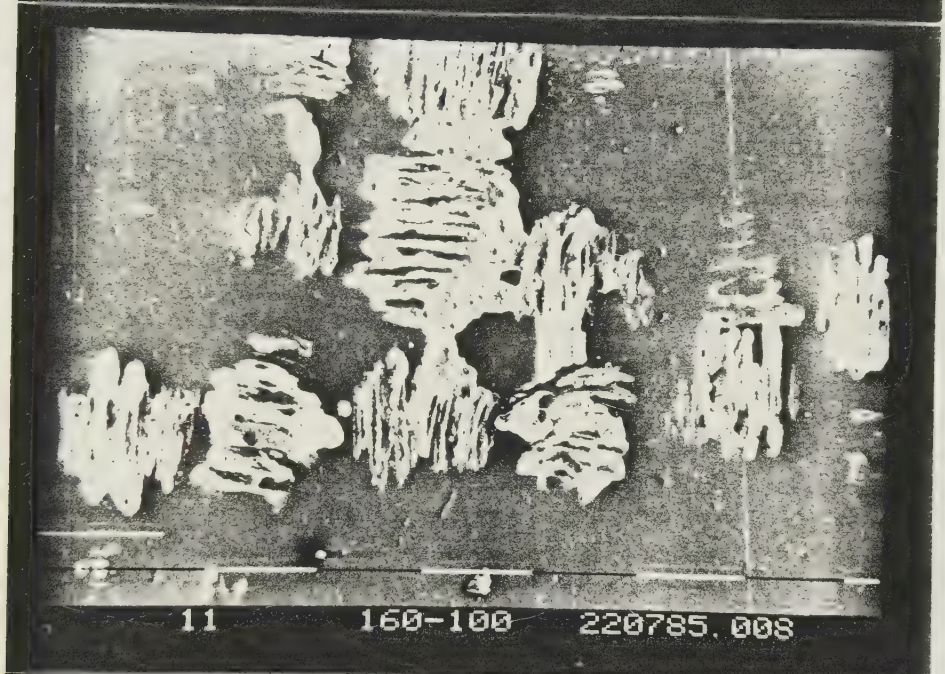
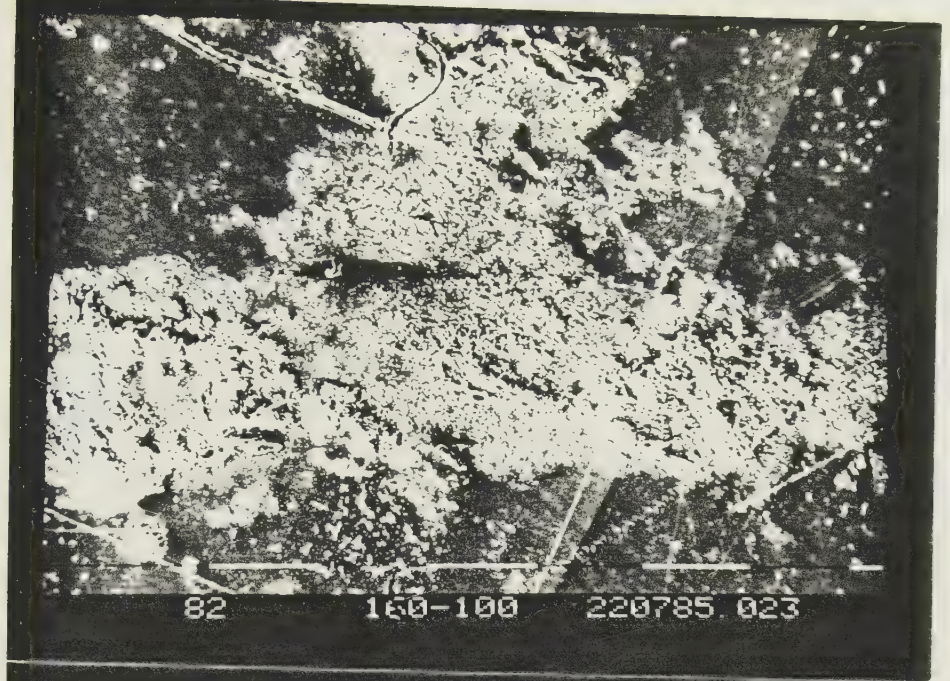


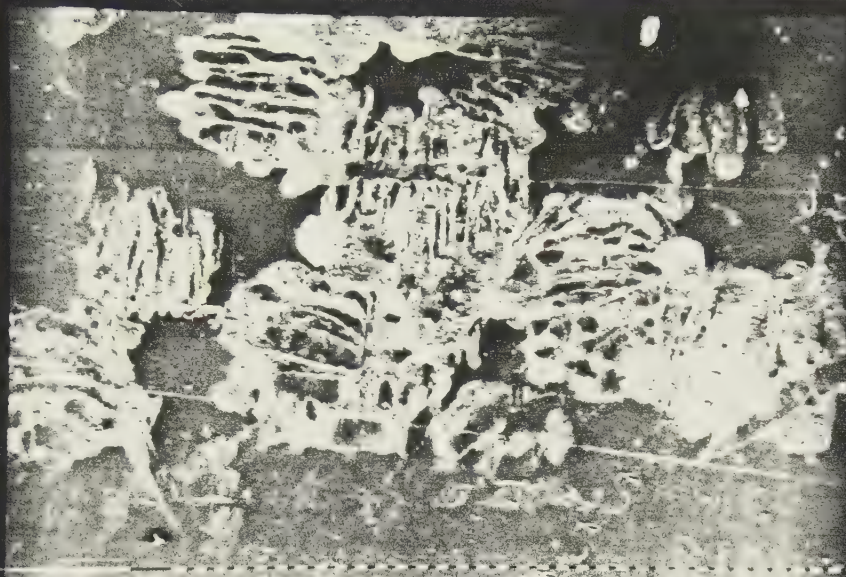
02 160-100 230785.002



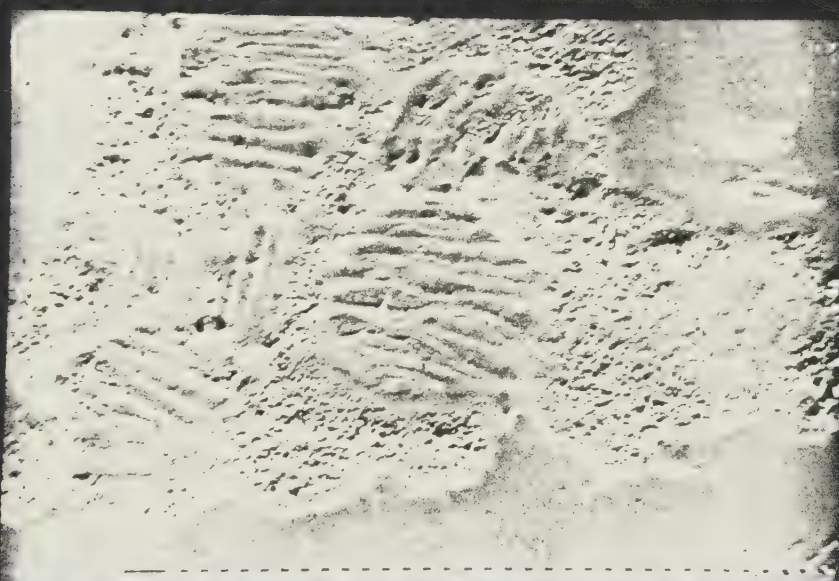
04 160-100 220785.006







71 160-100 230785.014



91 160-100 230785.015

8. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

8.1. Ergebnisse

Schon die einführende Darstellung der Materialien entsprechend ihrer Dicke zeigt eine große Bandbreite innerhalb der getesteten Materialien. Um die Übersicht über die erhaltenen Ergebnisse zu erleichtern wurde versucht, diese in einem +/- System zu werten. Entsprechend der einzelnen Kapitel wurden dabei vier Hauptpunkte berücksichtigt:

- Verhalten bei impulsfreier Belastung:

Im Kapitel "Mechanismus der Farbabgabe" wurde gezeigt, daß der begrenzende Faktor des Zeichnungsverhaltens bei allen Materialien die impulsfreie Belastung ist. Dabei zeigten einige Materialien im physiologischen Kaudruckbereich bei Fehlen der Geschwindigkeitskomponente eines Impulses keine Zeichnung.

- Randzeichnungsgenauigkeit:

In einem Modell, bei dem als ideale Abbildung einer Kugeloberfläche auf einer Ebene ein Kreis bestimmter Fläche erwartet wurde, wurden Größenabweichungen und Randzeichnungsungenauigkeiten durch Planimetrieren quantitativ erfaßt.

- Verhalten auf Zahnoberflächen:

Das Zeichnungsverhalten nach Deformierung des Testmaterials bei komplizierter Oberflächenmorphologie des Zeichnungsstrichs wurde an okkludierenden Keramikzähnen untersucht. Dabei werden die immer wieder angezeichneten Okklusionspunkte der dünnsten verwendeten Materialien als reale Okklusionspunkte angesehen. Abweichungen davon, Höcker- und Randleistenanfärbungen, Farbintensität und Homogenität sowie die Randgestaltung der Markierungen wurden bewertet.

- Verhalten bei reduziertem Druck:

Mit Hilfe einer elektrischen Schreibmaschine, deren Anschlagskraft reduziert wurde, konnte das Verhalten der Okklusionsmarkierungsmaterialien bei sehr kleinem Impuls studiert werden.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die erzielten Ergebnisse:

MATERIAL	VERHALTEN BEI IM- PULSFREIER BELASTUNG	RANDZEICH- NUNGSGE- NAUIGKEIT	VERHALTEN AUF ZAHN- OBERFLÄCHEN	VERHALTEN BEI REDU- ZIERTEM DRUCK
03	- -	+ +	+	+
05	- -	+ +	+	- -
13	- -	+ +	+	- -
16	+	+ +	+	+
02	+	- -	- -	- -
04	+	+	+	+
14	(+)	+	(+)	- -
34	+	+	-	+ +
62	+	- -	- -	+
82	+ +	- -	- -	+
11	+ +	- -	+	+
51	+ +	- -	(+)	+
71	+ +	- -	(+)	+
91	+ +	- -	(+)	+ +

Tab. 11: Gesamtübersicht über die Ergebnisse

Addiert man nun alle Plus- und Minuszeichen, um den Testsieger zu bestimmen, so setzt man eine Gleichwertigkeit der gewählten Kriterien voraus. Dies ist jedoch problematisch, oder anders ausgedrückt, was nützt eine hervorragende Zeichnungspräzision, wenn bei impulsfreier Belastung die Farbe lieber auf der Trägerfolie verharzt, anstatt eine Markierung auf dem Zeichnungsgrund zu hinterlassen.

Betrachten wir den Durchschnittspraktiker, der sich für ein flächenbildendes Okklusionsmarkierungsmaterial entscheiden soll, so wählt er eines der lt. Herstellerangabe dünnsten Materialien aus, also eine Folie, weil es ihm einsichtig erscheint, daß, je dünner ein Material, desto präziser die Zeichnung. Dies konnte in entsprechenden Versuchen bestätigt werden, wenngleich bemerkt werden muß, daß die Herstellerangabe der Dicke oft falsch ist. Aber da er die Erfahrung gemacht hat, daß diese Materialien immer wieder einmal gar keine Zeichnung hinterlassen, wählt er ein zweites, zwar dickeres und damit umpräziseres Material aus, welches aber wenigstens, wenn die entsprechende Folie versagt, eine Markierung hinterläßt. Diese Markierung ist jedoch bei unflexiblen dicken Materialien, also vor allem den Papieren, oft eine falsche, wie die vorliegenden Ergebnisse der Versuche mit Keramikzähnen beweisen. Höcker- und Randleistenanfärbungen können z. T. nicht mehr vom eigentlichen Okklusionspunkt unterschieden werden.

Wir stellen also fest, daß alle dicken Papiere nicht geeignet sind, Okklusionspunkte richtig darzustellen. Die Frage ist natürlich, ab wann ein Papier "dick" ist. Im Versuch waren als dünnste Papiere drei Exemplare mit einer Dicke von ca. 40 µm (04, 14 und 34). 04 und 14 zeigten ein eingeschränkt positives Verhalten bei den entsprechenden Zahnoberflächen, 14 ein eher schon negatives Ergebnis. Die Konsequenz lautet, die Materialien

so dünn wie möglich herzustellen. Untersuchungen von Halperin et al. (8) legen nahe, eine Dicke von etwa 10 μm als ideal anzusehen.

Daß die Dicke der Materialien für die Zeichnungsgenauigkeit bei zerklüftet ineinandergreifenden Oberflächen nur ein Faktor neben anderen ist, zeigen sowohl das differente Verhalten der nahezu gleichdicken Materialien 04 und 14 bei den Zahnversuchen sowie die Ergebnisse der Seiden, die in Relation zu ihrer Dicke bei diesen Versuchen durchaus positive Ergebnisse erzielen. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Kugelversuche (Randzeichnungsgenauigkeit), daß sich das Ergebnis bei sehr flächigen Kontakten stark verschlechtert. In der einzigen vorliegenden, den Zahnversuchen vergleichbaren Studie von Millstein (19), welcher US-amerikanische Produkte untersuchte, zeigte sich ein ähnlich weites Spektrum der Ergebnisse mit der Überlegenheit einer Folie.

Was bleibt also positives von den Papieren zu berichten? Vor allem überzeugt das Verhalten bei impulsfreier Belastung, an erster Stelle zu nennen das Material 82. Der Farbstoff dieses Produktes zeigt ein hervorragendes Haftungsverhalten im Grenzbereich. Dabei ist bedauerlich festzustellen, daß dieses Papier zwar den dünnsten Farbauftrag aller getesteten Papiere zeigt, aber nach dem Papier 02 mit 79,4 μm das dickste im Vergleich ist, bedingt durch die große Trägerdicke.

Ein konstant gutes Ergebnis liefert auch das Papier 04, das zusammen mit der Folie 16 das insgesamt beste Ergebnis zeigt und zudem mit einem angedeutet druckabhängigen Zeichnungsverhalten positiv überrascht.

Die Folien 03, 05 und 13 zeigen im physiologischen Kaudruckbereich bei Fehlen der Geschwindigkeitskomponente des Impulses keine Zeichnung. Damit ist auch zumindest ein Grund für ein mögliches klinisches Versagen von einigen Folien erklärt.

Über den Einfluß der Zeichnungsgrundmaterialien (Gold, Amalgam, Keramik,...) und dessen Zustand, d. h. Polierungsgrad sowie den klinisch wichtigen Einfluß der Feuchtigkeit, informiert die Arbeit von D. Leicher (17).

Weiterhin nicht berücksichtigt worden ist die Penetranz der Markierungen auf dem Zeichnungsgrund. Hinweise ergaben sich jedoch aus den Erfahrungen, die beim Entfernen der Okklusionsmarkierungen gemacht werden konnten. Dabei zeigte sich, daß der sehr flüssige Farbstoff der Seiden am einfachsten zu entfernen war.

8.2. Kritik an den gewählten Versuchsanordnungen

- Als Zeichnungsgrund wurden verschiedene Materialien verwendet, von Folien über Plexiglas, Keramik, bis hin zu Glas. So sind mögliche materialabhängige Komponenten der Zeichnung nicht auszuschließen.
- Die Untersuchung der Randzeichnungsgenauigkeit erforderte eine 65-fache Vergrößerung der Markierungen und führte damit teilweise zu einer Differenzierung, die im klinischen Alltag nicht möglich ist.
- Bei den Zahnversuchen konnte nicht eindeutig bewiesen werden, ob einige etwa 0,2 mm große Markierungen wahre Okklusionskontakte sind.

- Die vorliegenden Versuchsaufbauten vereinfachen die klinische Situation insofern, als daß biologische Parameter nicht berücksichtigt wurden.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem in der Literatur wenig beachteten Thema der Okklusallindikatoren. Es wurden 14 flächenbildende Okklusionsmarkierungsmaterialien, darunter Folien, Papiere und Seiden, bei Variation des Druckes und der Oberflächenmorphologie untersucht. Dabei handelt es sich ausschließlich um Simulationsversuche einer klinischen Situation bei Idealbedingungen.

Es zeigten sich folgende Ergebnisse:

- a) Je dicker und unflexibler ein flächenbildendes Okklusionsmarkierungsmaterial, desto weniger stimmen angezeichnete und wahre Kontakte überein.
- b) Von der Zeichnungsgenauigkeit sind Folien den Papieren und Seiden vorzuziehen.
- c) Folienmarkierungen zeigen eine ausgeprägte Haftungsproblematik.
- d) Es konnte gezeigt werden, daß klinisch Situationen auftreten können, bei denen die Folien 03, 05 und 13 sowie mit Einschränkungen das Papier 14, allein aufgrund der Druckverhältnisse, d. h. auch bei maximalem Kaudruck, aber bei Fehlen eines Impulses, keine Zeichnung zeigen. Als einzige Folie zeigt 16 auch hier positive Ergebnisse.
- e) Die Folie 16 sowie mit Abstrichen das Papier 04 zeigen das insgesamt harmonischste Ergebnis.

- f) Keines der getesteten Materialien erreicht die theoretisch zu fordernde Idealdicke von 10 μm . Die Herstellerangaben über die Dicken stimmen vor allem bei den Produkten 03 und 13 nicht mit den wahren Größen überein.
- g) Mögliche Ansätze einer Verbesserung der Materialien werden gezeigt.

10. LITERATURVERZEICHNIS

- (1) Arcan M., Zandman F.
A method for in vivo quantitative occlusal strain and stress analysis
J Biomech, 17 (2) 67-79 /1984

- (2) Chaikin W. R.
Ein neuer Okklusalindikator - Ergebnis einer 15-jährigen Entwicklungsarbeit
Quintessenz 8/1976 Ref.Nr. 5492

- (3) Dawson P. E., Arcan M.
Attaining harmonic occlusion through visualized strain analysis
J Prosthet Dent, 46 (6) 615-22 /1981 Dec

- (4) Dobies K.
Analysis and determination of occlusal rest strength
K. Protet Stomatol, 33 (1) 1-11 /1983 Jan-Feb (Eng. Abstr.)

- (5) Fitzig S., Serfaty V., Gazit E.
Photoocclusion technique for simultaneous qualitative and quantitative occlusal contact registration
J Prosthet Dent, 53 (3) 413-4 /1985 Mar

- (6) Fukuda M.
A new system for measuring occlusal force
New Prescale and its measuring device
Nippon-Shishubyo-Gakkai-Kaishi, 23 (3) 397-424 /1981 Sep (Eng. Abstr.) (Jpn)

- (7) Fukuda M., et al.
A new method of measuring occlusal pressure
Kokubyo Gakkai Zasshi, 50 (4) 651 /1983 Dec (Jpn)

- (8) Halperin G. C., Halnerin A. R., Norling B. K.
Thickness, strength, and plastic deformation of
occlusal registration strips
J Prothet Dent, 48 (5) 575-8 /1982 Nov

- (9) Hanel G.
Ein okklusionsdiagnostisches Hilfsmittel
DZZ 30, 835-836 /1975

- (10) Hoffmann F., Eismann D.
Die Gesamtfläche okklusaler Kontakte in der statischen
Okklusion an Gebißmodellen
Zahn Mund Kieferheilkd, 72 (8) 795-802 /1984

- (11) Hupfaut L.
Die Okklusionsdiagnostik im parodontal insuffizienten
Gebiß
DZZ 22 (6), 791 /1967

- (12) Ingle J. I.
Bestimmung von Okklusionsstörungen
Quintessenz 11/1957 Ref.Nr. 977

- (13) Ishii F., et al.
Application of the measuring sheet 'Prescale' in
orthodontic treatment
Tsurumi Shigaku, 9 (3), 429-38 /1983 Sep (Jpn)

- (14) Kinoshita S., et al.
A new method for occlusal examination and recording by
Occlusal Prescale
Shikai Tenbo, 59 (2) 311-20 /1982 Feb (Jpn)

- (15) Komari J.
Diagnostik vorzeitiger Kontakte
ZWR 87, 768 /1978

- (16) Laurell L., et al.
A standardized programme for studying occlusal force
pattern during chewing and biting in prosthetically
restored dentitions
J Oral Rehabil, 11 (1) 39-44 /1984 Jan

- (17) Leicher D.
Zeichnungsverhalten von flächenbildenden Okklusions-
markierungsmitteln auf verschiedenen Materialien und
vergleichende Größenanalyse der dargestellten Kontakt-
flächen
Med. Dissertation, Mainz (in Arbeit)

- (18) Liberman R., Eli I., Judes H., Ben-Amar A.
The recording and analysis of occlusal contacts:
A comparison of conventional techniques and a new
dye-coated occlusal wafer
Quintessence Int, 16 (3) 217-20 /1985 Mar

- (19) Millstein P. L.
An evaluation of occlusal contact marking indicators:
A descriptive, qualitative method
Quintessence Int, 14 (8) 813-36 /1983 Aug

- (20) Millstein P. L.
A method to determine occlusal contact and noncontact
areas: Preliminary report
J Prosthet Dent, 52 (1) 106-10 /1984 Jul

- (21) Noguchi T., Fukuda M., Taguchi S., Sueda T. and
Kinoshita S.
A new measurement of tooth contact area and occlusal
pressure
Journal of Dental Research, 59, 980 /1980

- (22) Noguchi T., et al.
Wrapping of occlusal Prescale for occlusal examination
Nippon Shishubyo Gakkai Kaishi, 25 (3) 575-81 /1983 Sep

- (23) Ozaki T., Kanazawa E.
An application of the moire method to three-dimensional
measurements of the occlusal aspects of molars
Acta Morphol Neerl Scand, 22 (1) 85-91 /1984 Mar

- (24) Reinhardt W., Reinhardt R., Wenke L.
Hologramminterferometrische Untersuchungen als ergän-
zende Möglichkeit der instrumentellen Okklusionsanalyse
Stomatol DDR, 35 (1) 9-13 /1985 Jan

- (25) Szentpétery A.
Okkluziós szinező eszközök alkalmazása a fogászatban
(Die Anwendung der Okklusionsprüfmittel in der Zahn-
heilkunde)
Fogorvosi Szemle 74, 263-6 /1981

- (26) Troest T.
Diagnosing minute deflective occlusal contacts
J Prosth Dent, 14, 71 /1984

- (27) Weber-Bosch D., Lukas D., Schulte W.
Okklusion und Schall-Untersuchungen zur Phonognatho-
graphie
DZZ, 35, 704-8 /1980

- (28) Yurkstas A. and Manly R. S.
Measurement of occlusal contact area effective in
mastication
Amer J Orthodont 35, 185 /1949

11. LEBENSLAUF

- | | | |
|----------|------|--|
| 1. März | 1962 | geboren als zweites Kind des Kaufmanns Karl Hartmann und seiner Ehefrau Gertrud Hartmann, geborene Vollmar, in Zweibrücken |
| August | 1968 | Einschulung in die Grundschule |
| August | 1972 | Wechsel auf die gemeinsame Orientierungsstufe des Hofenfelsgymnasiums und der Staatlichen Realschule der Stadt Zweibrücken |
| August | 1974 | Wechsel auf das Hofenfelsgymnasium der Stadt Zweibrücken |
| 25. Mai | 1981 | Zeugnis der Allgemeinen Hochschulreife |
| Oktober | 1981 | Aufnahme des Studiums der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz |
| 27. März | 1984 | Zeugnis der Zahnärztlichen Vorprüfung |

Danksagung:

An dieser Stelle bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr. Fuhr für die Überlassung des Themas und die Übernahme des 1. Gutachtens sowie bei Herrn Professor Dr. Stüttgen für die Übernahme des 2. Gutachtens.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Ständer für die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen, Herrn Kohlhaas für die technische Beratung und Herrn Dr. Bohl für die Betreuung beim Planimetrieren.

Weiterhin sei Frau Esinger für fotografische Arbeiten, Herrn Dr. Berres für die statische Beratung, Herrn Oberarzt Dr. Behneke, Dr. Reiber, Frau Becker und Frau Warlo für ihre Unterstützung gedankt.

